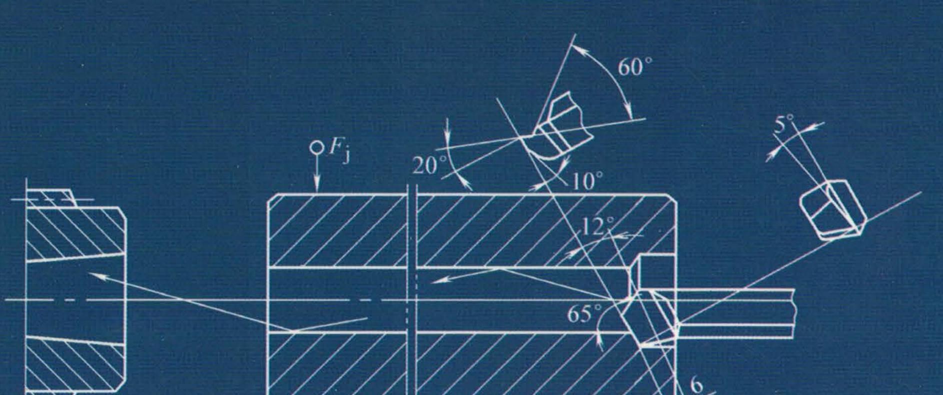
师傅教你学车工

SHIFU JIAONI XUE CHEGONG

田雁晨　田宝善　田亦丰　编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

师 傅 教 你 学 车 工

田雁晨　田宝善　田亦丰　编著

机 械 工 业 出 版 社

本书以金属切削的基本理论为基础，以作者多年积累的车工操作经验为借鉴，对车刀的刃磨与安装、工件的装夹、典型零件的基本操作技能、测量技术以及操作缺陷等进行系统的阐述和分析，并指出难加工零件的操作要点和操作技巧。

本书由浅入深、循序渐进，内容真实可靠、浅显易懂、实用性强，既可引导初学者夯实基础、尽快入门，又可满足在岗车工提高基本素质的需要。

图书在版编目（CIP）数据

师傅教你学车工/田雁晨等编著．—北京：机械工业出版社，2010.6

ISBN 978-7-111-30196-7

Ⅰ.①师…　Ⅱ.①田…　Ⅲ.①车削-基本知识　Ⅳ.①TG51

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2010）第 050567 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号　邮政编码 100037）
策划编辑：周国萍　责任编辑：李建秀
版式设计：张世琴　责任校对：吴美英
封面设计：马精明　责任印制：杨　曦
北京京丰印刷厂印刷
2010 年 5 月第 1 版·第 1 次印刷
169mm×239mm · 25 印张 ·485 千字
0 001—4 000 册
标准书号：ISBN 978-7-111-30196-7
定价：46.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务
社服务中心：(010)88361066
销 售 一 部：(010)68326294
销 售 二 部：(010)88379649
读者服务部：(010)68993821

网络服务
门户网：http：//www.cmpbook.com
教材网：http：//www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

前　言

随着科学技术的飞速发展，先进的机械加工装备使我们的操作变得既简单又省力。但要恰如其分地使用好这些现代装备，仍然要求我们必须掌握更为踏实的基本功。对车工而言，就要求从车刀的刃磨和安装、工件装夹的基本操作做起，逐步掌握机床调节方法和正确处理操作中出现的问题等复杂操作技能。本书就是针对这些需要编写的。

本书作者是从事机械加工实践与研究多年的老工程师，以亲身经历从车工应具有的通用知识为切入点，阐述金属切削和机械加工工艺的基本常识，围绕车工的加工特点，本着由浅入深、由易到难的原则，从车工基本操作技能入手，对典型零件的加工进行理论分析，指出操作难点和要点，将作者多年积累的操作经验融入各种操作实例当中，传递操作经验和技巧。以独特的体会和见解，对实践中常见的疑难问题，理性地进行答疑和疏导，并有针对性地纠正一些模糊概念和习惯性误区。

本书内容都是经过作者亲身验证，可以说是实践经验的总结，所以真实可靠，实用性强，既可满足初学者和转岗人员夯实基础、尽快入门的愿望，又可满足在岗人员提高基本素质的需要，对同业人员也有一定的参考价值。

在本书的编写过程中，王诗画、陈双梅、王文广、李玉田、林基义、韩军、刘继伟给予了帮助和支持，在此表示感谢。书中若有错误和不完善之处，请读者批评指正。

编　者

目　　录

前言

第 1 章　车削基本知识 …… 1

1. 1　车削常识概论 …… 1

1. 1. 1　车削的工艺特点 …… 1

1. 1. 2　车削的加工内容 …… 1

1. 2　车床 …… 2

1. 2. 1　车床的主要组成部分 …… 3

1. 2. 2　卧式车床的主要精度和检验方法 …… 5

【实例 1-1】 求直线度误差实例 …… 9

1. 2. 3　车床的局部调整 …… 14

1. 2. 4　卧式车床常见故障及排除方法 …… 16

1. 2. 5　车床的维护与保养 …… 21

1. 3　车床安全操作和文明生产 …… 23

1. 3. 1　车床安全操作 …… 23

1. 3. 2　文明生产 …… 24

第 2 章　金属切削常识 …… 25

2. 1　切削运动 …… 25

2. 2　切屑 …… 26

2. 2. 1　切屑的形成过程 …… 26

2. 2. 2　切屑的形态与收缩 …… 26

2. 2. 3　切屑的类型 …… 27

2. 3　切削要素 …… 28

2. 3. 1　切削用量要素 …… 28

【实例 2-1】 切削用量计算实例 …… 30

2. 3. 2　切削层横截面要素 …… 30

2. 3. 3　切削用量的合理选择和选择顺序 …… 31

2. 3. 4　切削用量参数的选择 …… 32

2. 4　切削力和切削功率 …… 34

2. 4. 1　切削力的概念 …… 34

2. 4. 2　切削力的计算 …… 35

【实例 2-2】 主切削力计算实例 …… 37

2. 4. 3　切削功率 …… 37

2. 4. 4　切削功率的校验 …… 38

【实例 2-3】 切削功率的校验计算实例 …… 38

2. 5　切削热 …… 39

2. 5. 1　切削热的产生 …… 39

2. 5. 2　切削温度的分布 …… 39

2. 5. 3　控制切削温度的措施 …… 40

2. 5. 4　切削液 …… 41

2. 6　影响切削变形的因素 …… 44

2. 6. 1　工件材料的影响 …… 44

2. 6. 2　车刀几何参数的影响 …… 44

2. 6. 3　切削用量的影响 …… 46

2. 6. 4　积屑瘤 …… 47

第 3 章　机械加工工艺基础 …… 50

3. 1　加工精度 …… 50

3. 1. 1　加工精度的内容 …… 50

3. 1. 2　获得加工精度的方法 …… 50

3. 2　影响加工精度的因素 …… 52

3. 2. 1　加工误差 …… 52

3. 2. 2　加工原理误差 …… 53

3. 2. 3　机床几何精度误差 …… 53

3. 2. 4　装夹误差 …… 56

3. 2. 5　刀具误差 …… 57

3. 2. 6　切削受力变形引起的误差 …… 59

3. 2. 7　工艺系统受热变形引起的误差 …… 63

【实例 3-1】 计算工件温升时的伸长量实例 …… 63

3.2.8　内应力的影响 …………………… 65
3.3　表面质量 ………………………… 67
3.3.1　影响工件表面质量的主要因素 ………………………… 67
3.3.2　表面质量对零件使用性能的影响 ……………………… 69
3.3.3　提高零件表面质量的措施 ………………………… 70
3.4　机械加工工艺规程 ………… 72
3.4.1　工艺规程的作用 …………… 72
3.4.2　工艺规程的编制原则 ……… 73
3.4.3　编制工艺规程的步骤 ……… 73
3.4.4　工艺文件 …………………… 74
3.5　尺寸公差与配合的应用…… 75
3.5.1　常用术语和定义 …………… 75
3.5.2　标准公差 …………………… 77
3.5.3　基本偏差 …………………… 79
3.5.4　配合 ………………………… 92
3.5.5　公差与配合应用计算实例 ………………………… 101
【实例3-2】　计算极限尺寸和公差实例 ………………… 101
【实例3-3】　求极限偏差的实例 …………………… 102
【实例3-4】　有关配合的计算实例 ………………… 103
3.5.6　常用配合的性质和应用…… 104
3.6　提高劳动生产率的途径 …… 105
3.6.1　缩短基本时间的措施 …… 105
3.6.2　缩短辅助时间的措施 …… 107
3.6.3　其他 ……………………… 108
第4章　工件的装夹 ……………… 109
4.1　工件的定位基准…………… 109
4.1.1　定位基准 ………………… 109
4.1.2　定位基准的选择 ………… 110
4.2　定位原理 ………………… 113
4.2.1　六点定位原理 …………… 113
4.2.2　定位方式的分类 ………… 114
4.3　车削工件的定位…………… 116
4.3.1　工件以外圆柱面定位 …… 116
4.3.2　工件以内孔定位 ………… 120
4.3.3　工件以平面定位 ………… 121
4.4　车削工件的夹紧…………… 123
4.4.1　夹紧装置的组成 ………… 123
4.4.2　夹紧装置的技术要求 …… 124
4.4.3　夹紧力的确定 …………… 124
4.5　车削工件的装夹…………… 126
4.5.1　弹性筒夹定心装夹 ……… 126
4.5.2　液塑夹具 ………………… 127
4.5.3　不停车夹头 ……………… 129
4.5.4　气动夹紧 ………………… 129
4.6　特殊工件的装夹实例 …… 130
4.6.1　在四爪单动卡盘上用划线盘找正 ……………………… 130
4.6.2　用花盘和弯板装夹工件…… 133
4.6.3　在花盘上装夹奇形工件…… 135
4.6.4　用千分表找正高精度工件 ………………………… 137
第5章　车刀 ……………………… 140
5.1　刀具材料 ………………… 140
5.1.1　刀具材料应具有的性能…… 140
5.1.2　各类刀具材料的特性和用途 ……………………… 141
5.2　车刀切削部分的几何参数 ……………………… 149
5.2.1　车刀的结构和几何形状…… 149
5.2.2　车刀的几何角度 ………… 153
5.2.3　卷屑槽与断屑措施 ……… 158
5.3　车刀几何参数的合理选择 ……………………… 161
5.3.1　选择合理几何参数的一般规律 ……………………… 161
5.3.2　车刀几何参数的选用原则及参考值 ……………………… 162
5.3.3　内孔车刀的特殊性分析…… 165

5.4　车刀手工刃磨技术 ……… 167
5.4.1　准备工作 …………………… 167
5.4.2　手工刃磨操作程序 ……… 168
5.4.3　刃磨车刀安全常识 ……… 171
5.4.4　磨石鐾刀技术 …………… 172
5.4.5　车刀磨损状况分析 ……… 174
第6章　车削的基本操作 ………… 179
6.1　车削轴类零件的操作 …… 179
6.1.1　轴类零件的特点 ………… 179
6.1.2　外圆车刀 ………………… 180
6.1.3　车轴类零件的基本方法…… 182
6.1.4　测量技术 ………………… 187
【实例6-1】　多台阶轴加工工艺实例 …………………… 192
6.1.5　轴类零件的切削缺陷分析 ……………………… 195
6.2　车削套类零件的操作 …… 196
6.2.1　套类零件的特点 ………… 196
6.2.2　钻孔操作 ………………… 196
6.2.3　车削内孔操作 …………… 204
6.2.4　深孔的精密加工 ………… 208
6.2.5　内孔测量技术 …………… 210
【实例6-2】　车深孔的有序排屑实例 …………………… 214
6.2.6　车内孔的切削缺陷分析…… 215
6.3　切断和车沟槽操作 ……… 216
6.3.1　切断工艺的特点 ………… 216
6.3.2　切断刀 …………………… 217
6.3.3　切断操作 ………………… 221
6.3.4　车沟槽操作 ……………… 223
6.3.5　切断和车沟槽常见切削缺陷分析 ………………… 226
6.4　圆锥面的车削技术 ……… 227
6.4.1　圆锥的基本知识 ………… 227
6.4.2　圆锥面的切削方法 ……… 230
6.4.3　圆锥面的测量技术 ……… 239
6.4.4　车圆锥面常见切削缺陷分析 ……………………… 243
6.5　偏心工件的车削…………… 244
6.5.1　偏心工件的装夹方式 …… 245
6.5.2　偏心工件的切削要点 …… 250
6.5.3　偏心距的测量 …………… 251
【实例6-3】　曲轴加工工艺实例 ……………………… 252
6.5.4　偏心工件常见加工缺陷分析 ……………………… 253
6.6　特殊表面加工 …………… 254
6.6.1　成形面的车削 …………… 254
6.6.2　表面修光 ………………… 261
6.6.3　表面光整加工 …………… 262
6.6.4　滚压加工 ………………… 267
【实例6-4】　金属管压延封口技术实例 ………………… 272
第7章　车螺纹操作技术 ………… 275
7.1　螺纹的基本尺寸与运算…… 275
7.2　螺纹车刀 ………………… 293
7.2.1　螺纹车刀的特殊性 ……… 293
7.2.2　典型螺纹车刀与刃磨 …… 296
7.3　三角形螺纹的切削 ……… 300
7.3.1　车螺纹前的准备工作 …… 300
7.3.2　乱扣现象 ………………… 313
7.3.3　基本操作方法 …………… 314
7.3.4　车圆锥管螺纹 …………… 322
【实例7-1】　圆锥管螺纹的简易切削方法实例 ………… 323
7.4　车削其他螺纹 …………… 325
7.4.1　车削梯形螺纹 …………… 325
7.4.2　车削矩形螺纹 …………… 327
【实例7-2】　径变螺杆的加工工艺实例 ………………… 327
7.4.3　多线螺纹的切削 ………… 330
【实例7-3】　英制多线螺纹的分线方法实例 …………… 336
7.5　螺纹测量和切削缺陷分析 ……………………… 337

7.5.1　螺纹测量技术 …………… 337

7.5.2　车螺纹常见操作缺陷分析 ………………………… 342

第8章　蜗杆副的车削操作技术 ………………………… 344

8.1　齿轮基础知识 ……………… 344

8.1.1　齿轮 ………………………… 344

8.1.2　圆柱齿轮的车削加工 …… 346

8.2　蜗杆和蜗轮的车削操作技术 ………………………… 347

8.2.1　基本尺寸 ………………… 348

8.2.2　蜗杆车削的基本操作方法 ………………………… 352

8.2.3　车削蜗杆交换齿轮计算…… 356

8.2.4　蜗轮的车削加工 ………… 364

8.3　蜗杆测量技术和切削缺陷分析 ………………………… 365

8.3.1　蜗杆测量技术 …………… 365

8.3.2　车削蜗杆常见操作缺陷分析 ………………………… 366

【实例8-1】　双头蜗杆加工工艺实例 ………………… 367

第9章　车削细长杆操作技术 …… 370

9.1　细长杆的加工特点 ……… 370

9.2　车削细长杆的工艺措施 …… 370

9.2.1　中心架的使用 …………… 370

9.2.2　跟刀架的使用 …………… 372

9.2.3　合理选择切削参数 ……… 374

9.2.4　消除切削热的影响 ……… 376

9.3　车削细长杆的操作程序 …… 377

9.3.1　车前准备工作 …………… 377

9.3.2　中心孔的车削与研磨 …… 378

9.3.3　细长杆的装夹形式 ……… 380

9.3.4　跟刀架操作技巧 ………… 382

【实例9-1】　丝杠加工工艺实例 ………………… 383

9.4　细长杆检测和车削细长杆操作缺陷分析 ……………… 387

9.4.1　细长杆检测技术 ………… 387

9.4.2　车削细长杆常见操作缺陷分析 ……………………… 388

参考文献 ………………………………… 391

第 1 章　车削基本知识

车床是机械制造业重要的切削设备，操纵车削加工的车工则是机械加工的重要工种。组装成机械装备的各种零件，很大一部分是通过车床加工出来的，因此，车削加工在机械工业中占有重要的位置。

1.1　车削常识概论

1.1.1　车削的工艺特点

与其他切削方式相比，车削的工艺特点是：

1）车削是以毛坯或工件的匀速旋转作为主运动，车刀或其他切削刃具作为进给运动，利用旋转工件对切削刃具的相对移动，去除多余的金属层，以获得符合技术要求的工件的切削过程。

2）切削的适应性强，除可切削各种钢铁材料外，还可切削多种非铁金属、非金属，以及对超硬材料进行精细加工，应用非常广泛。

3）加工内容灵活多样，可加工不同形式旋转体的直面、曲面、弧面、螺旋线等各种成形表面。

4）通常，切削过程是在连续状态下进行的，所以切削平稳，切削力的起伏变化不大，因此，可采用较大的切削用量，生产效率较高。

5）加工质量稳定，车削的加工精度可达 IT6 以上，表面粗糙度值 R_a 可达 0.8μm，各加工面的形位精度也较易保证。

6）车刀的结构简单，易于制造和刃磨，成本低廉，并可根据工艺需要，对车刀的几何形状和几何角度进行灵活地刃磨与修正。

7）车削操作的技术含量较高，主要表现在实际操作中灵巧的手动技能以及车刀的刃磨技术，其中刃磨车刀技术是车工基本的操作技能，它要求有扎实的理论功底和丰富的实践经验以及灵活的应变能力。作为车工，特别是高级车工，不但应会熟练地操作车床，还应刻苦钻研，熟练地掌握磨刀的基本技能，以便于在必要时，自己动手，解决实践中遇到的问题。

1.1.2　车削的加工内容

卧式车床是应用广泛的通用机床，自动化程度较低，但应用性较强，多在单

件或小批量生产的模具加工、机械修理或试制车间使用。卧式车床加工的范围很广，可进行外圆、内孔、端面、螺纹以及回转曲面的加工，如图 1-1 所示。

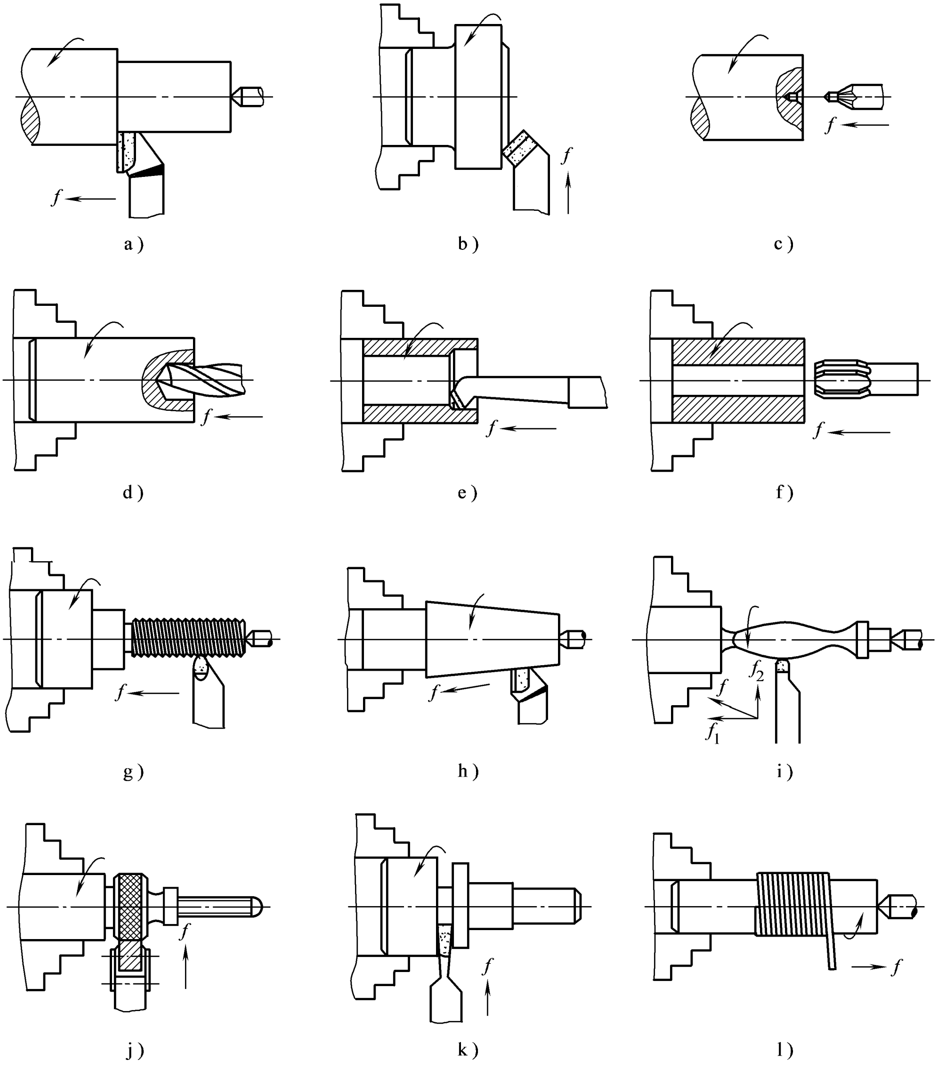


图 1-1　卧式车床车削加工的基本内容

a）车外圆　b）车端面　c）钻中心孔　d）钻孔　e）车内孔　f）铰孔　g）车螺纹

h）车圆锥面　i）车成形面　j）滚花　k）切断　l）盘绕弹簧

1.2　车床

车床的种类很多，按其结构和通用特性，可分为卧式车床、立式车床、转塔

车床、落地车床、自动车床和数控车床等。

1.2.1 车床的主要组成部分

各种车床的主要组成部分大体相同。现以 CA6140 卧式车床为例加以说明，它的主要结构如图 1-2 所示。按部件的位置和基本功能，可分成以下主要组成部分：

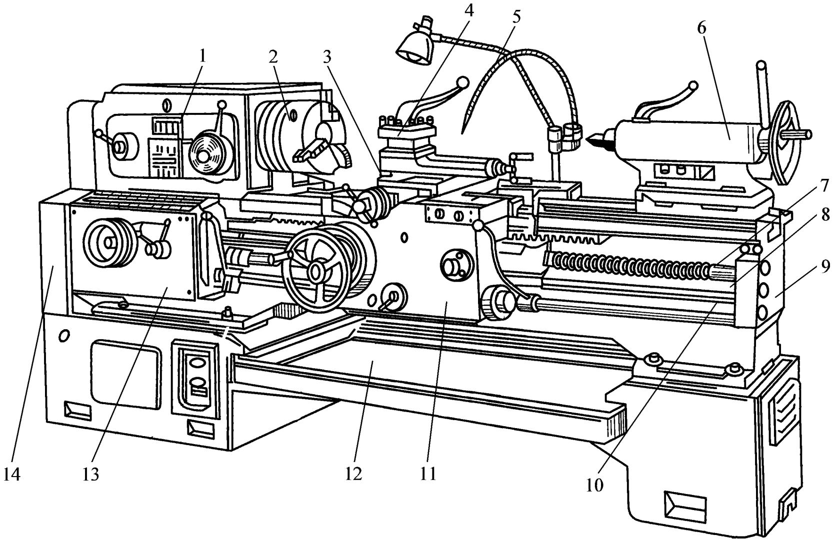


图 1-2 CA6140 型卧式车床的主要结构

1—主轴箱 2—卡盘 3—滑板 4—刀架 5—冷却管 6—尾座 7—丝杠 8—光杠 9—床身 10—操作杆 11—溜板箱 12—盛液箱 13—进给箱 14—交换齿轮箱

（1）床身 床身 9 固定在左、右床腿上，用来安装和支撑车床上各个零部件，使各组件间保持准确的相对位置和相对位移的运动轨迹，所以床身具有稳定敦实的结构和较高的制造精度。床身是车床在安装和检测时的基准。床身导轨面与主轴旋转中心的距离，是车床的最大回转半径，是车床的主参数。

（2）床头部分

1）主轴箱 1 固定在床身 9 的左上部。电动机的旋转动力通过带轮和多组齿轮副，传递给主轴，使主轴得到不同的转速和回转方向，以满足不同加工内容时所需要的转速。

2）主轴前端可安装卡盘 2 等装夹附件，用以夹持工件，从而带动工件旋

转，形成切削的主运动。

（3）交换齿轮箱　交换齿轮箱 14 位于车床左侧的中部，内设可以相互配换的交换齿轮装置，将主轴的回旋运动按一定的转动比传递给进给箱 13。

（4）进给部分

1）进给箱 13 固定在床身 9 的左前侧，内装多组齿轮副组成的变速机构，将交换齿轮箱 14 传递过来的回转运动，再以一定的速比传递给贯穿其中的光杠 8 或丝杠 7，并在各操纵手柄的控制下，协调光杠或丝杠与主轴间的转速比，以选择机动进给的进给量，或使被加工的螺纹获得精确的导程。

2）通过光杠 8 把进给箱的转动传递给溜板箱 11，使车刀按切削用量要求的速度作机动的直线进给运动。

3）丝杠 7 用来车削螺纹等螺旋线状工件，通过溜板箱 11 使车刀按要求的速度作精确的直线运动。

（5）溜板部分

1）溜板箱 11 与床鞍连接后，放置在床身 9 的导轨上，把光杠或丝杠传递过来的旋转运动，通过变向变速等装置，由旋转运动改变成车刀的进给运动。

2）滑板包括床鞍、中滑板和小滑板。溜板箱 11 吊装在床鞍上，中滑板和小滑板依次安装在相应的燕尾槽内，并分别与横向进给丝杠和小丝杠连接，分别摇动床鞍手轮、中滑板和小滑板手柄，即可分别驱动各滑板作纵向、横向或斜向的手动直线位移。

3）刀架 4 安装在小滑板上，用来装夹刀具。当床鞍、中滑板或小滑板移动时，刀架上的车刀也随之作纵向、横向或斜向移动，完成各种切削动作。

溜板箱还可以使刀架作机动位移。通过贯穿其中的光杠或丝杠，将进给箱 13 的旋转运动传递给溜板箱，在床身齿条、操纵手柄或按钮以及开合螺母的作用下，使车刀实现自动的纵向进给、横向进给、快速移动或车削螺纹的传动需要。

（6）尾座　尾座 6 安装在床身 9 的尾座导轨上，可沿着导轨作纵向移动，并根据工艺需要，调整并锁定在合适的位置上。在尾座套筒的圆锥孔内可安装顶尖和支承较长的工件；也可安装中心钻、钻头、绞刀和扳牙等切削刃具，对工件进行内孔加工。

尾座套筒部分还可以相对于底座作横向移动，用以切削较长的外圆锥体。

（7）其他　包括电器控制系统、切削液的循环供给系统以及跟刀架、中心架和拨盘等机床附件。

1. 2. 2　卧式车床的主要精度和检验方法

1. 卧式车床的主要精度

卧式车床的主要精度包括几何精度和精加工试件精度两类。

（1）几何精度　车床的几何精度是指车床基础构件本身的形状精度、相互位置精度及其相对移动精度。通常是在没有载荷的情况下测检，也称为静态精度。

（2）精加工试件精度　车床在实际工作状态下，机床零部件受到切削力、夹紧力或切削温度变化引起的弹性变形或热变形，以及车床运转和切削过程中产生的振动等，都对工件的精度产生影响。因此，通常通过切削加工后的工件精加工精度，考核车床的实际加工精度，称为精加工试件精度。

卧式车床精度项目标准详见表 1-1。其中序号 1 ~ 15 项是几何精度，序号 16 ~ 18 项是精加工试件精度。

表 1-1　卧式车床精度　（单位：mm）

<table>
<tr><th>序号</th><th>检验项目</th><th colspan="3">允许公差</th><th>检验工具</th></tr>
<tr><td rowspan="3">1</td><td rowspan="3">溜板移动在垂直平面内的直线度</td><td colspan="3">在溜板每 1m 行程上</td><td rowspan="3">精密水平仪</td></tr>
<tr><td>溜板行程/m</td><td>≤0. 5
≤1
≤2
≤4</td><td>0. 015
0. 02
0. 04
0. 06</td></tr>
<tr><td colspan="3">在全部行程上只许凸起</td></tr>
<tr><td rowspan="2">2</td><td rowspan="2">溜板移动时的倾斜度</td><td colspan="3">在溜板每 1m 行程上</td><td rowspan="2">精密水平仪</td></tr>
<tr><td>溜板行程/m</td><td>≤0. 5
≤1
≤2
≤4</td><td>0. 02/1000
0. 03/1000
0. 04/1000
0. 05/1000</td></tr>
<tr><td rowspan="6">3</td><td rowspan="6">溜板移动在水平面内的直线度</td><td rowspan="5">溜板行程/m</td><td colspan="2">床身上最大工件回转直径</td><td rowspan="6">千分表和检验棒</td></tr>
<tr><td>≤800</td><td>≤1200</td></tr>
<tr><td colspan="2">在溜板每 1m 行程上为</td></tr>
<tr><td>0. 015</td><td>0. 02</td></tr>
<tr><td colspan="2">在溜板全部行程上</td></tr>
<tr><td>≤0. 5
≤1
≤2
≤4</td><td>0. 01
0. 015
0. 025
0. 03</td><td>—
—
0. 03
0. 04</td></tr>
</table>

（续）

<table>
<tr><th>序号</th><th>检验项目</th><th>允许公差</th><th>检验工具</th></tr>
<tr><td>4</td><td>尾座移动对溜板移动的平行度</td><td><table>
<tr><td rowspan="4">溜板行程/m</td><td colspan="2">在溜板每 1m 行程上为</td></tr>
<tr><td colspan="2">上母线和侧母线 0. 03</td></tr>
<tr><td colspan="2">在溜板全部行程上</td></tr>
<tr><td>上母线</td><td>侧母线</td></tr>
<tr><td>≤0. 5
≤1
≤2
≤4</td><td>0. 02
0. 03
0. 05
0. 06</td><td>0. 02
0. 03
0. 04
0. 05</td></tr>
</table></td><td>千分表</td></tr>
<tr><td>5</td><td>主轴锥孔线的径向圆跳动对回转轴线</td><td><table>
<tr><td colspan="4">床身上最大工件回转直径</td></tr>
<tr><td><320</td><td>≤400</td><td>≤800</td><td>≤1250</td></tr>
<tr><td colspan="4">测量距离 L</td></tr>
<tr><td>200</td><td colspan="2">300</td><td>500</td></tr>
<tr><td colspan="4">a. 近主轴端处</td></tr>
<tr><td>0. 01</td><td>0. 01</td><td>0. 015</td><td>0. 02</td></tr>
<tr><td colspan="4">b. 离主轴端 l 处</td></tr>
<tr><td>0. 015</td><td>0. 02</td><td>0. 025</td><td>0. 04</td></tr>
</table></td><td>千分表和检验棒</td></tr>
<tr><td>6</td><td>溜板移动对主轴轴线的平行度</td><td><table>
<tr><td colspan="4">床身上最大工件回转直径</td></tr>
<tr><td><320</td><td><320</td><td><320</td><td><320</td></tr>
<tr><td colspan="4">测量长度 L</td></tr>
<tr><td>200</td><td colspan="2">300</td><td>500</td></tr>
<tr><td colspan="4">a. 上母线</td></tr>
<tr><td>0. 01</td><td colspan="2">0. 03</td><td>0. 08</td></tr>
<tr><td colspan="4">b. 侧母线</td></tr>
<tr><td>0. 01</td><td colspan="2">0. 015</td><td>0. 03</td></tr>
<tr><td colspan="4">检验棒伸出端只许向上偏向前偏</td></tr>
</table></td><td>千分表和检验棒</td></tr>
<tr><td>7</td><td>小刀架移动对主轴轴线的平行线</td><td><table>
<tr><td>小刀架行程</td><td>在小刀架全部行程上</td></tr>
<tr><td>≤100
≤200</td><td>0. 03
0. 04</td></tr>
</table></td><td>千分表和检验棒</td></tr>
<tr><td>8</td><td>主轴的轴向窜动</td><td><table>
<tr><td colspan="3">床身上最大工件回转直径</td></tr>
<tr><td>≤400</td><td>≤800</td><td>≤1250</td></tr>
<tr><td>0. 01</td><td>0. 015</td><td>0. 02</td></tr>
</table></td><td>千分表和专用检具</td></tr>
</table>

（续）

<table>
<tr><th>序号</th><th>检验项目</th><th colspan="12">允许公差</th><th>检验工具</th></tr>
<tr><td rowspan="4">9</td><td rowspan="4">主轴轴阶支承面的端面圆跳动</td><td colspan="12">床身上最大工件回转直径</td><td rowspan="4">千分表</td></tr>
<tr><td colspan="4">≤400</td><td colspan="4">≤800</td><td colspan="4">≤1250</td></tr>
<tr><td colspan="4">0. 02</td><td colspan="4">0. 025</td><td colspan="4">0. 03</td></tr>
<tr><td colspan="12">此项精度只适用于装可换卡盘的车床</td></tr>
<tr><td rowspan="4">10</td><td rowspan="4">主轴轴定心轴径的径向圆跳动</td><td colspan="12">床身上最大工件回转直径</td><td rowspan="4">千分表</td></tr>
<tr><td colspan="4">≤400</td><td colspan="4">≤800</td><td colspan="4">≤1250</td></tr>
<tr><td colspan="4">0. 01</td><td colspan="4">0. 015</td><td colspan="4">0. 02</td></tr>
<tr><td colspan="12">此项精度只适用于装可换卡盘的车床</td></tr>
<tr><td rowspan="6">11</td><td rowspan="6">溜板移动对尾座顶尖套筒锥孔轴线的平行度</td><td colspan="12">床身上最大工件回转直径</td><td rowspan="6">千分表</td></tr>
<tr><td colspan="3">≤320</td><td colspan="3">≤400</td><td colspan="3">≤800</td><td colspan="3">≤1250</td></tr>
<tr><td colspan="12">测量长度 L</td></tr>
<tr><td colspan="3">200</td><td colspan="9">300</td></tr>
<tr><td colspan="12">检验棒的上母线和侧母线</td></tr>
<tr><td colspan="4">0. 02</td><td colspan="4">0. 03</td><td colspan="4">0. 04</td></tr>
<tr><td rowspan="8">12</td><td rowspan="8">溜板移动对尾座顶尖套筒伸出方向的平行度</td><td colspan="12">床身上最大工件回转直径</td><td rowspan="8">千分表</td></tr>
<tr><td colspan="6">≤800</td><td colspan="6">≤1250</td></tr>
<tr><td colspan="12">在 100mm 测量长度上</td></tr>
<tr><td colspan="12">尾座顶尖套筒上母线</td></tr>
<tr><td colspan="6">0. 015</td><td colspan="6">0. 02</td></tr>
<tr><td colspan="12">尾座顶尖套筒侧母线</td></tr>
<tr><td colspan="6">0. 01</td><td colspan="6">0. 015</td></tr>
<tr><td colspan="12">顶尖套端部只许向上偏向前偏</td></tr>
<tr><td rowspan="4">13</td><td rowspan="4">主轴和尾座套筒锥孔轴线对溜板移动的不等高度</td><td colspan="12">床身上最大工件回转直径</td><td rowspan="4">千分表和检验棒</td></tr>
<tr><td colspan="4">≤400</td><td colspan="4">≤800</td><td colspan="4">≤1250</td></tr>
<tr><td colspan="4">0. 06</td><td colspan="4">0. 10</td><td colspan="4">0. 16</td></tr>
<tr><td colspan="12">只许尾座高</td></tr>
<tr><td rowspan="4">14</td><td rowspan="4">丝杠两轴承轴线和开合螺母轴线对床身导轨的不等距离</td><td colspan="12">床身上最大工件回转直径</td><td rowspan="4">千分表</td></tr>
<tr><td colspan="6">≤400</td><td colspan="6">≤1250</td></tr>
<tr><td colspan="12">丝杠的上母线和侧母线</td></tr>
<tr><td colspan="6">0. 15</td><td colspan="6">0. 20</td></tr>
<tr><td rowspan="3">15</td><td rowspan="3">丝杠的轴向窜动</td><td colspan="12">床身上最大工件回转直径</td><td rowspan="3">千分表</td></tr>
<tr><td colspan="4">≤400</td><td colspan="4">≤800</td><td colspan="4">≤1250</td></tr>
<tr><td colspan="4">0. 01</td><td colspan="4">0. 015</td><td colspan="4">0. 02</td></tr>
</table>

（续）

<table>
<tr><th>序号</th><th>检验项目</th><th colspan="3">允许公差</th><th>检验工具</th></tr>
<tr><td rowspan="7">16</td><td rowspan="7">精车外圆的圆度和圆柱度</td><td colspan="3">床身上最大工件回转直径</td><td rowspan="7">千分表</td></tr>
<tr><td>≤400</td><td>≤800</td><td>≤1250</td></tr>
<tr><td colspan="3">a. 圆度(d_1-d_2)</td></tr>
<tr><td>0.01</td><td>0.015</td><td>0.02</td></tr>
<tr><td colspan="3">b. 圆柱度(L测量长度)</td></tr>
<tr><td>$L=100$</td><td colspan="2">$L=300$</td></tr>
<tr><td>0.01</td><td>0.03</td><td>0.04</td></tr>
<tr><td rowspan="12">17</td><td rowspan="12">精车螺纹的螺距精度</td><td colspan="3">床身上最大工件回转直径</td><td rowspan="12">专用精密检测工具</td></tr>
<tr><td>≤400</td><td>≤800</td><td>≤1250</td></tr>
<tr><td colspan="3">累积误差</td></tr>
<tr><td colspan="3">在每25mm的测量长度上</td></tr>
<tr><td>0.03</td><td>0.035</td><td>0.04</td></tr>
<tr><td colspan="3">在每100mm的测量长度上</td></tr>
<tr><td>0.04</td><td>0.05</td><td>0.06</td></tr>
<tr><td colspan="3">在每300mm的测量长度上</td></tr>
<tr><td>0.06</td><td>0.07</td><td>0.08</td></tr>
<tr><td colspan="3">表面粗糙度值 R_a1.6μm</td></tr>
<tr><td>≤400</td><td>≤800</td><td>≤1250</td></tr>
<tr><td>0.01</td><td>0.015</td><td>0.02</td></tr>
<tr><td rowspan="3">18</td><td rowspan="3">精车的端面圆跳动</td><td colspan="2">试件直径</td><td>在端面直径上</td><td rowspan="3">平尺和塞规</td></tr>
<tr><td colspan="2">≤200
≤300
≤400
≤500
≤600
≤700
≤800</td><td>0.015
0.02
0.025
0.03
0.04
0.05
0.06</td></tr>
<tr><td colspan="3">只许端面凸，表面粗糙度值 R_a 不低于1.6μm</td></tr>
</table>

2. 卧式车床的检验方法

在车床大修或安装后，应对车床主要精度进行重点检查和验收。

（1）借助溜板移动　借助溜板移动检测床身导轨的几何精度，以保证在切削过程中，车刀沿着正确的轨迹运行。

1）溜板纵向移动在垂直平面内的直线度。将水平仪纵向放置在溜板的前导轨处，如图 1-3 所示，从主轴箱端极限位置开始，自左向右依次定距分段移动溜板，并记录每段水平仪的读数，依次排列，画出导轨在垂直平面内的直线度曲线，它以导轨长度为横坐标，水平仪的读数为纵坐标，溜板在开始位置上的水平仪读数作为第一条线段，从坐标原点画起，其余各读数以前一读数线段的终点为下一段的起点，画出相应的线段。由各线段组成的曲线，即为导轨在垂直平面内的直线度曲线。作曲线起点和终点两端的连线，即为导轨在全长上的直线度误差。

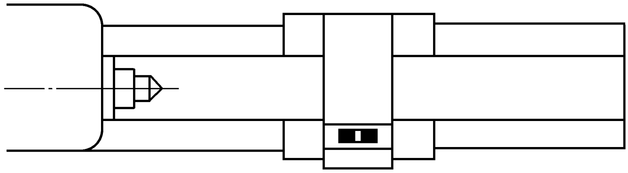


图 1-3　导轨在垂直平面内的直线度测量

【实例 1-1】　求直线度误差实例

某卧式车床的最大工件长度为 1000mm，水平仪的刻度值为 0.02/1000，溜板每移动 250mm 测量一次，各测量点水平仪的读数依次为 +1.3，+1.5，-0.2，-1.1、-1.0 格，画出导轨在垂直平面内的直线度误差曲线，并求出导轨在全长上的直线度误差。

解：根据依次的读数，画出导轨在垂直平面内的直线度误差曲线，如图 1-4 所示。

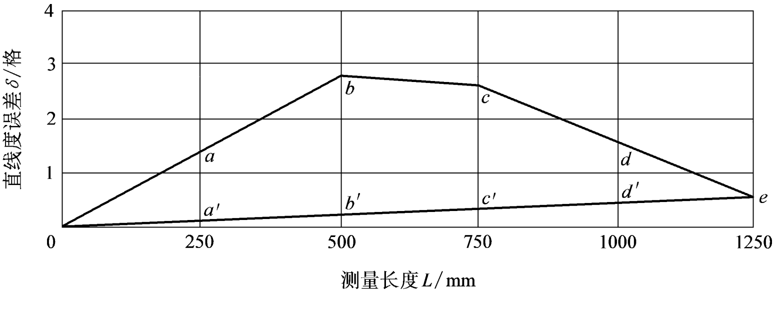


图 1-4　导轨在垂直平面内的直线度误差曲线

导轨在全长上的直线度误差为

$$\delta_{全} = \overline{bb'} \times \frac{0.02}{1000} \times 250 = 2.6 \times \frac{0.02}{1000} \times 250\text{mm} = 0.013\text{mm}$$

2）横向导轨的平行度。水平仪横放在溜板上，如图 1-5 所示。溜板纵向依

次分段等距离移动，记录每一位置水平仪的读数。水平仪在全部测量段上最大的代数差，是横向导轨平面度误差，实际上即为前后纵向导轨在垂直平面内的平行度误差。

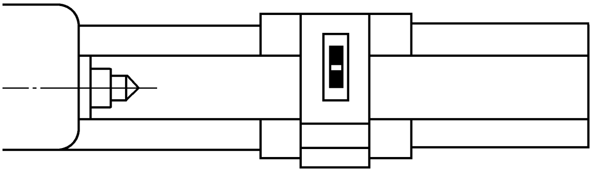


图 1-5　横向导轨的平行度测量

（2）检验主轴的静态几何精度　该检验为防止在切削时产生振动或形位误差。

1）主轴定心轴颈的径向圆跳动。将千分表固定在溜板上，使测头垂直触及定心轴颈，如图 1-6 所示。在主轴缓慢旋转时，测取千分表读数的最大差值为主轴定心轴颈的径向圆跳动误差。

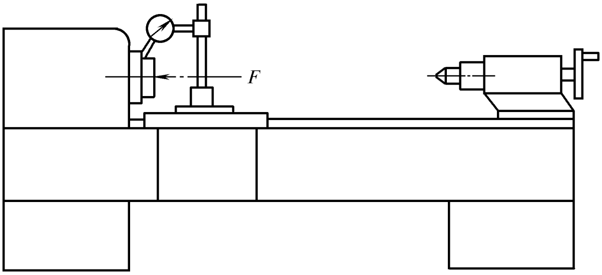


图 1-6　主轴定心轴径的径向圆跳动测量

2）主轴轴肩支承面的端面圆跳动和主轴的轴向窜动。将千分表固定在溜板上，使测头垂直触及轴肩支承面边缘，如图 1-7 所示。在主轴缓慢旋转时，测取千分表读数的最大差值，为主轴轴肩支承面的端面圆跳动误差。再在主轴轴向施力 *F*，再缓慢选择主轴，测取千分表读数的最大差值，即为主轴轴向窜动误差。

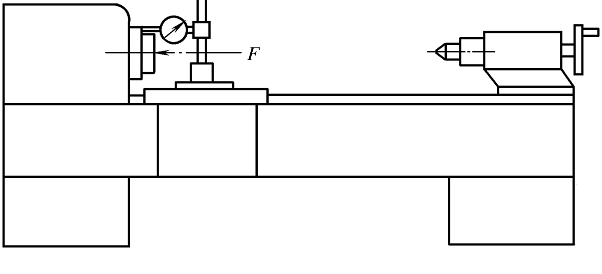


图 1-7　主轴轴肩支承面圆跳动测量

3）主轴锥孔轴线的径向圆跳动。将带圆锥柄的检验棒插入主轴锥孔内，千分表固定在溜板上，使测头垂直接触在检验棒的根部，如图 1-8 所示。缓慢转动主轴，测取千分表读数的最大差值，即为主轴锥孔轴线的径向圆跳动误差。

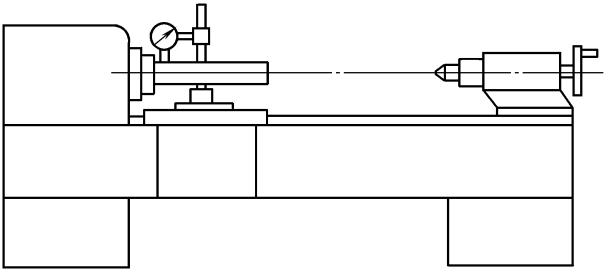


图 1-8　主轴锥孔轴线的径向圆跳动测量

4）主轴轴线的径向圆跳动。在主轴锥孔中插入带圆锥柄的检验棒，将千分表固定在溜板上，使测头依次垂直触及检验棒的圆柱面 *a* 和 *b* 处，如图 1-9 所示。在主轴缓慢旋转时，分别记录 *a* 和 *b* 处千分表读数的差值。之后，将检验棒相对于主轴锥孔先后转位 90°插入，测量四次，四次读数差值的算术平均值，即为主轴轴线的径向圆跳动误差。

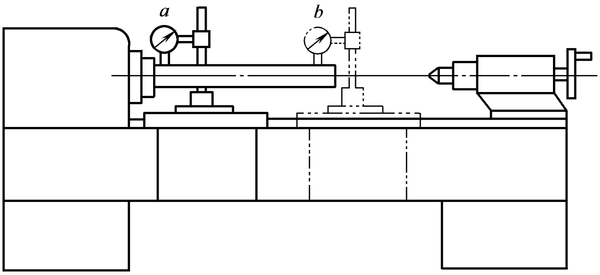


图 1-9　主轴轴线的径向圆跳动测量

（3）检查各滑动导轨面和传动系统的运行状况　该检查可防止因运行不平衡状态而产生的切削用量误差或切削振动。

1）检查各滑动导轨面的配合间隙和接触状况，使各相对移动面移动平稳、准确。

2）观察各传动系统运转的动平衡精度，使带轮、齿轮等传动构件无超标的振动和噪声。

3）检查各操纵手柄运作的灵活性和定位的准确性。

（4）检查溜板移动相对于主轴轴线的形位精度　该检查可保证车刀在切削时相对位移的正确性。

1）溜板移动相对于主轴轴线的平行度。在主轴锥孔内插入检验棒，千分表固定在溜板上，将测头分别触及检验棒的侧母线 a 和上母线 b，如图 1-10 所示。移动溜板，在 a 和 b 处分别记录千分表读数的差值。然后将主轴旋转 180°，再测取一组读数，两组读数差值的代数和之半，即分别为溜板移动相对于主轴轴线在水平面内的侧母线 a 的平行度误差，和在垂直平面内的上母线 b 的平行度误差。根据规定：侧母线 a 的误差只允许向前偏；上母线 b 的误差只允许向上偏。

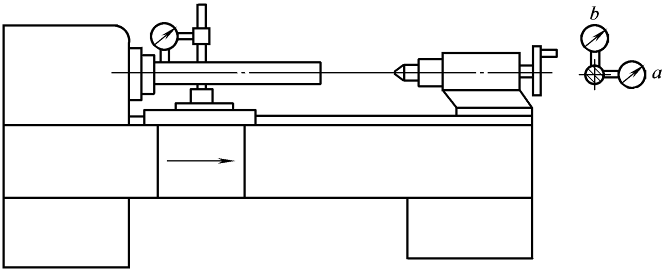


图 1-10　主轴轴线对溜板移动的平行度测量

2）中滑板横向移动相对于主轴轴线的垂直度。检验平盘固定在主轴上，千分表固定在中滑板上，使测头垂直触及平盘表面，如图 1-11 所示。移动中滑板，测取千分表读数差值，再将主轴旋转 180°，测取第二次读数差值，两次读数的平均值即为中滑板横向移动相对于主轴轴线的垂直度。

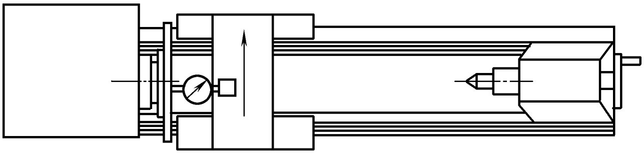


图 1-11　中滑板横向移动对主轴轴线的垂直度测量

3）小滑板纵向移动相对于主轴轴线的平行度。检验棒插入主轴锥孔内，千分表固定在刀架上，并调整好小滑板移动与主轴轴线的平行度后，将测头在垂直平面内触及检验棒的上母线，如图 1-12 所示。在小滑板的工作范围内移动小滑板，测取千分表读数的差值后，使主轴旋转 180°，再测量一次，测取差值，两次差值的代数和之半，即为小滑板纵向移动相对于主轴轴线的平行度误差。

（5）检测尾座套筒的形位精度　该检测可用以保证在顶固工件或钻孔、铰孔时，工件或钻头等切削工具获得正确的切削位置。

1）尾座套筒轴线相对溜板移动的平行度。将尾座套筒伸出定长后锁紧，千分表固定在溜板上，使测头分别触及尾座套筒的侧母线 a 和上母线 b，如图 1-13 所示。移动溜板，分别测取 a 和 b 处千分表读数的差值，其中 a 的差值为尾座套

筒轴线在水平面内的平行度误差，只允许向前偏；b 的差值为在垂直平面内的平行度误差，只允许向上偏。

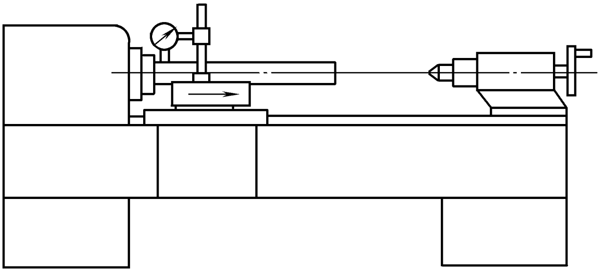


图 1-12　小滑板纵向移动对主轴轴线的平行度测量

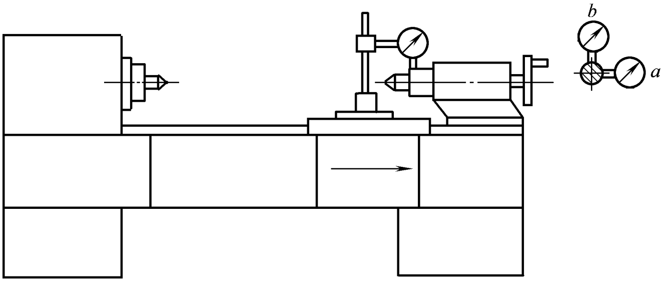


图 1-13　尾座套筒轴线对溜板移动的平行测量

2）尾座套筒锥孔轴线相对于溜板移动的平行度。将检验棒插入尾座套筒的锥孔内，套筒退入尾座孔内锁紧，千分表固定在溜板上，使测头分别触及检验棒的侧母线 a 和上母线 b，如图 1-14 所示。移动溜板，分别测取 a 和 b 处千分表读数的差值；然后取出检验棒，相对旋转 180°后装入，再重复检测一次，测取两组差值，两次差值的代数和之半为尾座套筒锥孔轴线相对于溜板移动的平行度误差，其中 a 为水平面内的平行度误差，b 为垂直平面内的平行度误差。

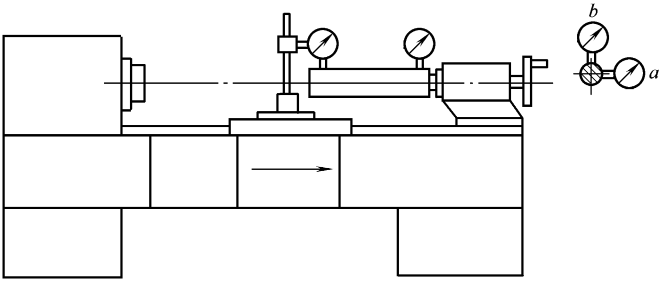


图 1-14　尾座套筒锥孔对溜板移动的平行度测量

3）尾座套筒锥孔和主轴轴线相对于溜板移动的平行度。将检验棒顶在前后顶尖之间，检测检验棒的圆跳动后，千分表固定在溜板上，使测头分别垂直触及检验棒的侧母线 a 和上母线 b，如图 1-15 所示。移动溜板，分别测取 a 和 b 处千分表读数的差值为尾座套筒锥孔和主轴轴线相对于溜板移动的平行度误差，其中 a 为水平面内的平行度误差，b 为垂直平面内的平行度误差，即两轴线相对于溜板移动的不等高度，它只允许尾座端高。

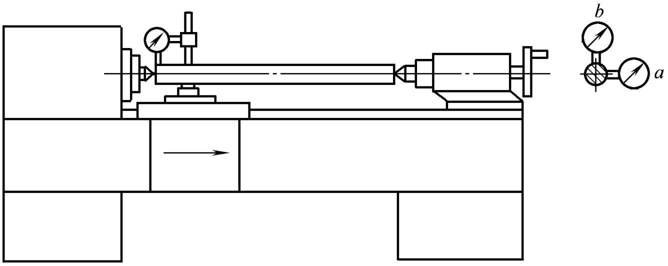


图 1-15　主轴轴线对溜板移动的平行度测量

（6）精加工试件精度

1）检测工件的圆度和圆柱度。将长度适当、刚性较好的易切削钢试件，夹持在卡盘上，在车床达到稳定的温度时，精车外圆，用圆度仪或千分尺检测工件的圆度和圆柱度误差。

2）检测螺纹螺距的累积误差。取直径接近丝杠直径的易切削钢试件，精车和丝杠螺距相等的粗牙普通螺纹，达到精度要求，无凹陷或振纹。用专用检验工具检验螺距累积误差。

3）检测端面圆跳动。取直径等于床身最大回转直径的易切削钢或灰铸铁试件，用卡盘夹持，在车床达到稳定的温度后，精车垂直于主轴的平面，用平尺、塞尺或千分表检测工件端面的平面度或端面圆跳动误差。

1.2.3　车床的局部调整

在日常使用时，由于相对移动部位的磨损和切削振动引起的局部松动，以及由压力、温度、疲劳、化学腐蚀等引起的损耗，都会使车床机械精度和刚度下降，使切削能力变差。因此，必要时应对车床进行局部调整。

1. 对切削加工质量的影响

车床运行精度和切削性能的下降，会引起加工质量下降，出现多种切削缺陷，主要表现有：

1）车削圆柱面时，会产生圆度和圆柱度误差，以及在工件表面产生有规律

或无规则的波纹。

2）车削端面时，产生端面的平面度和振摆误差，以及在端面出现规则的波纹或螺旋状波纹。

3）切削圆锥体时，产生双曲线误差，影响圆锥体的配合质量。

4）车削螺纹时，产生螺距误差、乱牙、扎刀，以及在牙型表面出现波纹等现象。

5）在操作时，背吃刀量的准确性降低，容易出现扎刀现象。

6）影响机床的刚性和运转精度，在强力或断续切削时，容易产生切削振动和噪声，以及闷车、毁刀等不良现象。

因此，为满足不同切削内容和工艺操作的需要，使车床正常运转，以保证工件的加工质量，在必要时应对车床进行局部调整。

2. 提高车床精度的调整

在车削高精度的工件时，要求车床具有较高的几何精度、运行精度和系统运转的平稳性，以保证工件尺寸和形位精度以及表面粗糙度的高精度要求，所以应对以下主要部位进行局部调整：

1）调小主轴轴承的径向间隙和轴向窜动量，在高速运转时不产生闷车的前提下，越小越好。一般情况下，轴承径向间隙应小于 0.005mm，轴向窜动量应小于 0.01mm。

2）将试棒插入主轴锥孔中，分别检测试棒的侧母线和上母线，如图 1-10 所示，调整主轴旋转中心相对床身导轨的平行度，以保证工件直径的圆柱度要求。

3）将试棒顶在两端顶尖之间，分别检测试棒的侧母线和上母线，如图 1-15 所示。调整两锥孔的等高度、尾座轴心相对于主轴轴心的平行度、以及两锥孔的等高度，以保证车削细长件的圆柱度要求。

4）调整小滑板纵向平行移动对主轴轴心上母线的平行度，防止出现圆锥面的双曲线，影响圆锥面的直线度。

5）调小横向进给丝杠和螺母间隙，以及各滑动面的移动间隙，提高移动的平稳性和进刀的准确性。

6）在车削精度较高的螺纹时，应消除丝杠的轴向窜动，调整开合螺母的滑动间隙和对中性，以及交换齿轮的齿侧间隙，以保证螺纹螺距的精度。

3. 提高车床刚性的调整

在进行强力切削时，使用硬质合金等强力车刀，采用较深的背吃刀量、较大的进给量和较快的切削速度进行切削，所以，主切削力较大，要求工件、刀具特别是机床应具有足够的刚性，输出最大的功率。为此，应对以下各部进行调整：

1）调整电动机支座位置，张紧 V 带，以防止因 V 带打滑而闷车。

2）调节主轴箱的多片离合器，使各摩擦片在切削过程中压紧的摩擦力能承受强力切削力的冲击。

3）调整主轴轴承的径向间隙和轴向窜动，以提高车床的刚性，使主轴运转平稳，减少振动。

4）调节各滑动导轨的移动间隙，提高各部的运动刚性和抗振动能力。

5）调节脱落蜗杆端部螺母，压紧弹簧，防止因切削力较大时，脱落蜗杆自动停止机构自行脱落而不能正常进给。

1.2.4 卧式车床常见故障及排除方法

卧式车床常见故障及排除方法见表 1-2。

表 1-2 卧式车床常见故障及其排除方法

序号	故障内容	产生原因	排除方法
1	圆柱工件加工后，外径产生锥度	（1）主轴箱主轴轴线对溜板移动导轨的平行度超差 （2）床身导轨倾斜精度超差或装配后发生变形 （3）床身导轨面严重磨损，主要三项精度均已超差 （4）两顶尖支持工件时产生锥度 （5）刀具的影响，切削刃不耐磨 （6）由于主轴箱温升过高，引起机床热变形 （7）地脚螺栓松动	（1）重新找正主轴箱轴线的安装位置，使工件在允许误差范围内 （2）用调整垫铁来重新找正床身导轨的倾斜角度 （3）刮研导轨甚至进行大修理 （4）调整尾座两侧的横向螺钉 （5）修正刀具，正确选择主轴转速和进给量 （6）降低油温，并定期换油，检查液压泵进油管是否堵塞 （7）调整并紧固地脚螺栓
2	圆柱形工件加工后，外径产生椭圆或棱圆	（1）主轴轴承间隙过大 （2）主轴轴颈的圆度超差 （3）主轴轴承（套）的外径（环）有椭圆，或主轴箱体轴孔有椭圆，或两者的配合间隙过大	（1）调整主轴轴承间隙 （2）若滑动轴承尚有足够的调整余量时，可将主轴的轴颈进行修磨，以达到圆度要求之内的公差 （3）修整主轴箱体的轴孔，并保证它与滚动轴承外环的配合精度，如采用的是滑动轴承，其他轴承必须更换新的轴承套

（续）

序号	故障内容	产生原因	排除方法
3	精车外径时，在圆周表面上每隔一定长度距离上重复出现一次波纹	（1）溜板箱的纵向进给小齿轮与齿条啮合不良 （2）光杠弯曲或光杠、丝杠、操纵杠等三孔不在同一平面上 （3）溜板箱内某一传动齿轮损坏或由于节径振摆而引起啮合不良 （4）主轴箱、进给箱中的轴弯曲，或齿轮损坏	（1）如波纹之间距离与齿条的齿距相同时，即可认为这种波纹是由齿轮—齿条引起的，应设法使齿轮—齿条的齿形正确，达到正常的啮合间隙及齿面全宽上啮合 （2）将光杠拆下校直，装配时要保证三孔同轴及在同一平面上，溜板在移动时不得有轻重现象 （3）检查与找正溜板箱内传动齿轮，已损坏时必须更换 （4）校直传动轴，用于转动各轴，在空转时应无轻重现象
4	精车外径时，圆周表面轴线平行或成某一角度重复出现有规律的波纹	（1）主轴上的传动齿轮齿形误差大或啮合不良 （2）主轴箱上的带轮外径（或带槽）振摆缝不符合要求	（1）调整主轴轴承，使齿轮副的啮合间隙不得太小或太大，在正常情况下侧隙保持在 0.05mm 左右 （2）消除带轮的偏心振摆，调整它的滚动轴承间隙
5	精车外径时，圆周表面上在固定的长度上有一节波纹凸起	（1）床身导轨在固定的长度位置上有碰伤凸痕等 （2）齿条表面在某处凸出或齿条之间的接缝不良	（1）修去碰伤、凸痕等毛刺 （2）将两尺条的接缝配合仔细找正，遇到齿条上某一齿特粗或特别细时，可以修整至与其他单齿的齿厚相同
6	精车外径时，圆周表面上出现有规律性的波纹	（1）因为电动机旋转不平衡而引起机床摆动 （2）因为带轮等旋转零件的振幅太大而引起的机床摆动 （3）刀具与工件之间引起的振动	（1）找正电动机转子的平衡，有条件时进行动平衡检查 （2）找正带轮，对其外径、带轮三角槽进行光整车削 （3）设法减少振动：①刀具进行刃磨，保持切削性能；②找正刀尖的安装位置；③建议刀杆伸出刀架的长度 $L \leq 1.5B$（B 为刀宽）

（续）

序号	故障内容	产生原因	排除方法
7	精车外径时，圆周表面上有混乱的波纹	（1）主轴滚动轴承的滚道磨损 （2）主轴的轴向间隙太大 （3）用卡盘夹持工件切削时，因卡盘法兰内孔、内螺纹与主轴前端的定心轴颈、螺纹配合松动而引起的工件不稳定，或卡盘呈喇叭孔形状而使工件夹紧不稳 （4）方刀架座因夹紧刀具而变形，导致其底面与小溜板的表面接触不良 （5）上、下溜板的滑动表面之间的间隙过大	（1）更换主轴的滚动轴承 （2）调整主轴后端推力球轴承的间隙 （3）产生这种现象时可改变工件的夹持方法，即用尾座支持住进行切削。如乱纹消失，即可肯定是卡盘法兰的磨损所致。这时可按主轴的定心轴颈及前端螺纹配置新的卡盘法兰，若卡盘呈喇叭孔时，一般夹垫铜片即可解决 （4）在夹刀具时用涂色法检查刀架与小溜板接合面的接触精度，应保持方刀架座在夹紧刀具时仍保持与它均匀地全面接触，否则用刮研修正 （5）将所有导轨副的镶条、压板均调整到适合的配合，使移动平衡、轻便，用0.04mm的塞尺检查时插入深度应≤10mm
8	精车外径时，主轴每一转在圆周表面上有一处振痕	（1）主轴的滚动轴承某几粒滚珠磨损严重 （2）主轴上的传动齿轮节圆径向圆跳动误差过大	（1）将主轴滚动轴承拆卸后，用千分尺逐粒测量滚珠，如确系某几粒滚珠磨损严重时，必须更换轴承 （2）消除主轴齿轮的节圆径向圆跳动误差，严重时更换齿轮副
9	精车后的工件端面圆跳动误差	主轴轴向间隙或轴向传动量较大	调整主轴的轴向间隙及窜动（图1-5）
10	精车后的工件端面中心凸起	（1）溜板移动对主轴线的平行度超差 （2）溜板的上、下导轨垂直度超差	（1）找正主轴箱主轴轴线的位置，在保证工件正规合格的前提下，要求主轴轴线向前偏移 （2）经过大修理以后的机床出现该项误差时，必须重新刮研床鞍下导轨面

（续）

序号	故障内容	产生原因	排除方法
11	精车大端面工件时，每隔一定距离重复出现一次波纹	（1）溜板上导轨研损致使刀架下滑座移动时，出现间隙等不稳定情况 （2）横向丝杠弯曲 （3）刀架下滑座的横向丝杠与螺母的间隙过大	（1）刮研配合导轨及镶条 （2）校直横向丝杠 （3）按空运转试验中（图 1-12）的调整方法调整丝杠与螺母的间隙
12	精车大端面工件时，端面出现螺旋形波纹	主轴后端的推力球轴承中某一粒滚珠尺寸特大	检查该轴承，确定是它引起的波纹时，可更换新的推力球轴承，若轴承中至少有三粒滚珠的绝对尺寸相近时，可采用解体选配法来解决
13	车螺纹时，螺距不均匀及乱纹	（1）机床的螺母丝杠磨损、弯曲 （2）开合螺母磨损，与丝杠不同轴而造成啮合不良或间隙过大，又因其燕尾导轨磨损而造成开合螺母闭合时不稳定 （3）由于轴经过交换齿轮而引起的传动链间隙过大 （4）丝杠轴向间隙过大 （5）米制、英制手柄挂错或拨叉位置不对或交换齿轮架上的交换齿轮挂错	（1）、（2）可按图样的要求修理及调整丝杠与开合螺母的间隙 （3）检查各传动链的啮合间隙，凡属可以调整的均予调整 （4）调整丝杠边连接轴的轴向间隙及其窜动 （5）检查手柄、拨叉、交换齿轮的齿数是否正确
14	精车螺纹表面有波纹	（1）因机床导轨磨损而使溜板倾斜下沉，造成螺母丝杠弯曲，与开合螺母的啮合不良 （2）丝杠托架支撑孔磨损，使其回转中心不稳定 （3）丝杠的轴向间隙过大 （4）进给箱交换齿轮轴弯曲、扭曲 （5）所有滑动轴承面间有间隙 （6）方刀架与小溜板接触不良 （7）车削长螺纹工件时，因工件本身弯曲而引起表面波纹 （8）因电动机、机床车身固有频率而引起的振荡	（1）校正丝杠、光杠、操纵杠三者支撑的同轴度 （2）镗托架支撑孔并镶套 （3）调整丝杠轴向间隙 （4）更换进给箱的交换齿轮轴（轴 I） （5）调整导轨间隙及镶条、溜板压板等 （6）修刮刀架座底面，使四个角的接触到位 （7）校直工件或多次时效处理，消除内应力 （8）摸索、掌握该振动区规律

（续）

序号	故障内容	产生原因	排除方法
15	用小溜板进刀精车锥孔时，呈喇叭形或表面粗糙	（1）小溜板移动燕尾导轨直线度超差 （2）小溜板移动对主轴轴线平行度超差 （3）主轴径向回转精度不高	（1）、（2）均可刮研导轨 （3）调整主轴的轴承间隙，提高主轴的回转精度
16	用切断刀车槽时，产生“颤动”	（1）主轴轴承的径向间隙过大 （2）主轴孔的后轴承端面不垂直 （3）主轴轴线的径向圆跳动误差过大 （4）工件夹持中心孔不符合要求	（1）调整主轴轴承的间隙 （2）检查并找正后端面使垂直度达到要求 （3）将主轴的径向圆跳动调整至小值，如滚动轴承的圆跳动无法避免时，可采用角度选配法来减少主轴的径向圆跳动 （4）找正工件毛坯后，再钻中心孔
17	强力切削时，主轴转速低于铭牌上的转速或发生自动停车	（1）摩擦离合器调整过松或磨损 （2）离合器操纵手柄接头松动 （3）摩擦离合器操纵手柄套和离合器磨损 （4）摩擦离合器轴上的弹簧垫圈或锁紧螺母松动 （5）主轴箱内集中操纵手柄的销子或滑块磨损，手柄定位弹簧过松而使齿轮脱开 （6）电动机 V 带调得过松	（1）调整摩擦离合器，修磨或更换摩擦片 （2）打开配电箱盖，紧固接头上螺钉 （3）修焊或更换摩擦离合器操纵手柄套和离合器 （4）调整弹簧垫圈及锁紧螺钉 （5）更换销子、滑块，将弹簧力加大 （6）调整 V 带的松紧程度
18	停车后主轴有自转现象	（1）摩擦离合器调整过紧，停车后仍未完全脱开 （2）制动器过松或没有调整	（1）调整摩擦离合器 （2）调整制动器的制动带

（续）

序号	故障内容	产生原因	排除方法
19	尾座锥孔内钻头、顶尖等顶不出来	尾部丝杠头部磨损	焊接加长丝杠顶端
20	主轴箱油窗不注油	（1）滤油器、油管堵塞 （2）液压泵活塞磨损，压力过小或油量过小 （3）进油管漏压	（1）清洗滤油器，疏通油路 （2）修复或更换活塞 （3）拧紧管接头

1.2.5　车床的维护与保养

为了保证车床的工作精度，保持正常的运转状态，延长使用寿命，应注意车床的日常维护和定期保养。

1. 车床的日常维护

车床的日常维护包括以下内容：

1）班前应对各运转和移动部位按时加注润滑油或润滑脂，并保证各油路的畅通，使润滑剂散布到各个需要的部位。光杠和丝杠部位，由于转动频率较高，也必须注意每班加油。

2）变换各种速度时必须停车，以免打坏齿轮。在搬动变速手柄时，应用力柔和，不能过猛过急。若发现手柄转不动或转不到位时，是各齿轮副的齿牙相错，不能啮合所致，这时可一只手轻轻盘动卡盘，改变齿轮圆周位置，另一只手对变速手柄轻轻着力，直至齿轮副的齿牙对合后，再轻轻压合手柄，完成变速动作。

3）各滑动面上应清洁无物，不准放置工具及零件。当装夹较重的工件或装卸卡盘时，应在床面上垫上木板、胶板等软质板材，以保护各滑动面不受损伤。

4）不允许在卡盘或床身导轨上敲击或校直工件，以免影响车床主轴或床身的几何精度。

5）估算或在必要时计算主切削力，合理选择切削用量，应在不超载、不损伤机床的前提下，提高切削效率。

6）合理选择车刀的几何角度，车刀在磨损前应及时刃磨，以避免消耗机床的无用功。

7）在使用切削液时，应在各导轨面上涂足量的润滑油，以减弱化学作用的侵蚀。

8）在切削铸铁等脆性材料时，应先将型砂杂质清除干净，并擦去导轨上的润滑油。切削完毕后，卸下导轨的防尘护垫清洗，并多次移动滑板，用煤油将杂

质清洗干净后，加注润滑油，以免残存的杂质损坏导轨。

9）随时观察各部运转状况，发现异常，应立即停车检查，及时排除故障，以防微杜渐。

10）下班前，应将尾座和溜板置于床身尾端右床腿的支承处，以尽量减少外力负载引起的床身变形。

11）当主轴夹持较重的工件时，下班前，应在重心处设置垫块或千斤顶等支承工件，以减轻主轴的压力。

12）当车削偏心类工件时，应在适当部位设置合适的平衡块，以保证主轴运转的动平衡。

2. 车床的定期保养

车床在正常运行到一定时间后，应进行定期保养，并分为“一级保养”和“二级保养”。

（1）“一级保养” “一级保养”是以操作工人为主、维修人员配合的定期保养，车床正常运行500h时进行一次。“一级保养”的内容有：

1）清洗主轴箱、清除污物、注入经过过滤的清洁润滑油。

2）调整多片离合器间隙和制动器以及V带的松紧状态，调整各操纵手柄的位置，检查各紧定螺母和螺钉有无松动。

3）清洗进给箱各齿轮及轴套，并注入新的润滑剂。

4）检查和调整交换齿轮箱各齿轮的啮合间隙，紧定交换齿轮托架。

5）清洗并调整中、小滑板镶条的移动间隙及丝杠与螺母的窜动间隙。

6）清洗各导轨面、长丝杠、光杠和各操纵杆，刮掉局部的研伤及毛刺。

7）清洗尾座丝杠，检查并修整套筒外表面和锥孔的伤痕。

8）清洗车床外表面及罩盖内部等死角处的污垢，保持内外清洁，无锈蚀、无油污。

9）检查冷却装置，清除滤油器及切削液箱内的杂物，更换切削液，消除冷却泵及管路漏液现象。

10）检查各润滑部位，清洗油窗、油杯及油绳、油毡，保证油孔油路清洁畅通。

11）电器装置应整齐、固定，清理电动机、电器箱的油污和积尘，检查照明灯的通路及接地情况，保证安全可靠。

（2）“二级保养” “二级保养”是以维修人员为主、操作车工为辅的定期保养，车床在正常运行2500h时进行一次。“二级保养”的主要内容有：

1）检查并清洗主轴箱、进给箱、溜板箱等各部，修复或更换磨损失效的零件，调整多片离合器、脱落蜗杆等制动、联锁机构，保证性能良好，动作可靠。

2）检测并修整各滑动导轨，刮平导轨拉伤处，修刮各滑动面和镶条，保持

适宜的滑动间隙，调整各传动丝杠与丝母的间隙。

3）检查主轴和尾座套筒锥孔，刮除拉伤痕迹，保证两锥孔的中心等高。

4）检测主轴轴承的径向和端面圆跳动，以及尾座轴线和床鞍纵向移动相对于主轴轴线的平行度，通过调整与修复，均达到精度要求。

5）“一级保养”的其他内容。

1.3　车床安全操作和文明生产

1.3.1　车床安全操作

在车削操作中，必须注意安全生产，避免造成人身和设备事故。因此，必须重视和遵守安全规则：

1）上班前应穿好工作服、工作鞋，长发操作者戴好防护帽；在切削脆性材料时，应戴防护镜；严禁戴手套操作。

2）在操作前，对各滑动部位加注润滑油，并检查各操纵手柄是否处于正确位置；检查夹持工件是否牢固可靠，并依次紧定。

3）开车时，先低速运转 3～5min，待确认各部运转正常后，再开始正常操作。

4）在机床运转中，不可用手触摸卡盘或工件表面，以免划伤。

5）在粗加工，特别是高速切削加工时，刀具未脱离工件前，不准停车，以防止损伤机床构件和刀具。

6）变换速度、装卸工件、测量尺寸和擦拭车床时，必须停车操作。

7）装卸卡盘或较重的工件时，应选用可靠的吊装工具和方法，不准用正反转装卸卡盘。卡盘旋紧后，应装好锁紧装置；工件偏重时，应在适当的部位装夹合理的配重平衡块，防止因偏重加大旋转离心力，影响主轴精度。

8）合理选择切削用量，不超载切削，防止损伤机床；合理选择车刀几何角度，以降低主切削力，力求切屑有序排出或断屑，防止切屑横飞伤人。

9）应采用钩子等工具清除切屑，不准用手直接接触。

10）经常观察车刀切削和机床运转状况，发现异常现象，应立即停车检查，找出原因，及时排除。

11）不能用反转快速制动停车，防止主轴急速改变旋转方向，将卡盘甩出，发生重大事故。

12）操作时要思想集中，不得擅自离开机床，离开机床时，要切断电源。

1.3.2 文明生产

文明生产反映了现代机械工人科学的操作理念和综合操作水平，它直接体现了企业管理者与机床操作者的荣誉，因此，学习车工基本操作技能时，就应该同时培养文明生产的习惯。文明生产包括以下几个方面：

1）工作服和防护帽应经常保持整洁，以显示现代机械工人的文明风采。

2）工作场地应保持整洁、无油污和杂物；未加工与已加工的工件应分别整齐有序摆放。

3）工具与量具应分类整齐地放置在工具架上，不要随意放在工作台上。工具箱的刀具或工具量具也应分类有序地放置在固定的位置上。

4）图样、工艺文件安放在便于阅读的位置上，并注意保持清洁和完整。

5）机床应做到每天一小擦，一周一大擦，保持机床的整洁。

6）坚持安全操作和日常的维护与定期保养的一切规范要求，使车床保持稳定的运转状态。

第 2 章　金属切削常识

金属切削加工是指用切削工具从被切削件的表面上切除多余的金属层，使其达到图样所要求的几何形状、尺寸精度和表面质量的加工全过程。金属切削加工又分为机械加工和钳工加工两类。

机械加工是由人工或数控程序操纵金属切削机床进行的切削加工。切削加工又根据切削工具类型的不同分为刀具切削加工和磨料切削加工两类。刀具切削加工的主要形式有车床上使用车刀、在铣床上使用铣刀等进行金属切削的加工；磨料切削加工的主要形式有磨削、珩磨、超精加工等。

钳工加工是由人工用手动工具进行的切削加工。主要形式有使用锉刀、刮刀、手锯以及装配、修理等人工操作的加工。随着加工技术的发展和机床自动化程度的提高，一些钳工工作逐渐被机械加工替代，但由于钳工加工具有灵活方便、成本低、适应性强等特点，在机械制造业中仍占有特殊的地位。

2.1　切削运动

在切削过程中，通过刀具和被切削件的相对运动形成切削状态，它们的相对运动称为切削运动。切削运动可以是相对作直线运动，也可以是相对作旋转运动。根据运动的性质，切削运动可以分为主运动和进给运动，如图 2-1 所示。

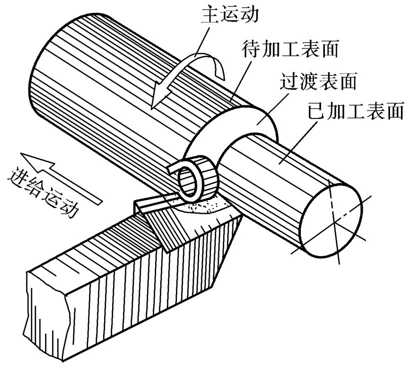


图 2-1　切削运动和进给运动

（1）主运动　由机床（或人力）提供的刀具和被切削件之间的主要相对运动。它的特征是消耗的功率最多。例如：车削时，工件的旋转运动；铣削时，铣刀的旋转运动；以及刨刀和锉刀的往复直线运动等都是主运动。

（2）进给运动　由机床（或人力）提供的刀具和被切削件之间附加的相对运动，它的作用是配合主运动，不断地将多余的金属层投入切削区域，以保持切削的连续性。例如，车削时，车刀的横向或纵向进给；以及锉削时，人力对锉刀的压力进给等都是进给运动。

在切削运动中，被切削件上的切削层不断地被刀具切落并变为切屑，从而形

成工件的新表面。这样，在切削过程中，工件上有三个不断变化着的表面，即具有所需几何特性的已加工表面、待加工表面和介于两表面之间的切削刃正在切削的过渡表面，又称切削表面或加工表面。

金属切削过程是用切削工具从被切削件表面上切去多余的金属层，形成切屑和已加工表面的过程。在这个过程中同时产生了如切屑、切削力、切削热、残余应力、切削刀具的磨损以及已加工表面的硬化等物理现象。它们都与在切削过程中金属层的变形及其变化规律有密切关系。因此了解这些现象的变化规律，对合理刃磨刀具，提高加工质量和效率，有十分重要的意义。

2.2 切屑

2.2.1 切屑的形成过程

在切削过程中，刀具压向被切削材料，在刀具切削冲力的挤压作用下，金属内部组织分子发生变化，产生变形并形成切屑，切屑的形成过程如图 2-2 所示。

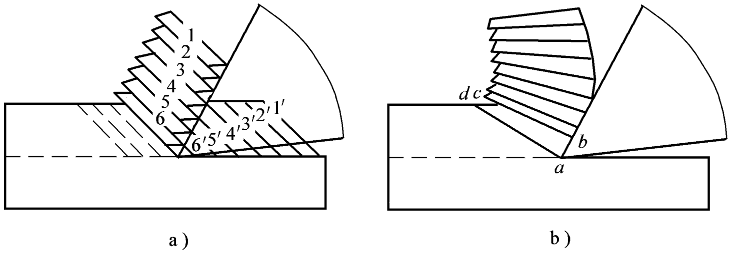


图 2-2　切屑的形成过程

在切削过程中，被切削的金属层可形象地描述为层层叠起的卡片1′、2′、3′…。当刀具切入塑性金属时，刀具挤压切削层，产生弹性变形，这些卡片被推移到1、2、3…的位置上，形成金属层的弹性滑移，如图 2-2a 所示。之后，在切削力的相继作用下，进入滑移面时，在刀具前面强烈的挤压、摩擦作用下，金属层的底面被挤压伸长，从而产生不可复原的塑性滑移。随着滑移量的不断增大，当塑性滑移超过金属的极限强度时，金属层被撕裂下来，形成切屑，如图 2-2b 所示。

2.2.2 切屑的形态与收缩

1. 切屑的形态

切屑与前面接触的表面是平滑的，而相背的一面则呈毛茸状或锯齿状，并向上面弯曲。这是由于切屑底面与刀具前面的强烈挤压和摩擦，这些单元的底面被

挤压拉长，使各单元的形状形成近似梯形 *abcd*，这些梯形垒叠起来，形成了切屑的弯曲现象。

2. 切屑的收缩

在切削过程中，被切削的金属层在经过滑移变形形成切屑时，出现切屑的长度缩短的现象，称为切削收缩。在长度收缩的同时，切屑的厚度也相应地增厚，如图 2-3 所示。

切屑收缩的程度用收缩系数 ξ 表示

$$\xi = \frac{l_c}{l_{ch}} = \frac{a_{ch}}{a_c} > 1 \qquad (2\text{-}1)$$

式中　ξ——收缩系数；

l_c——切削层理论长度（mm）；

l_{ch}——切屑展开长度（mm）；

a_{ch}——切屑厚度（mm）；

a_c——切削层厚度（mm）。

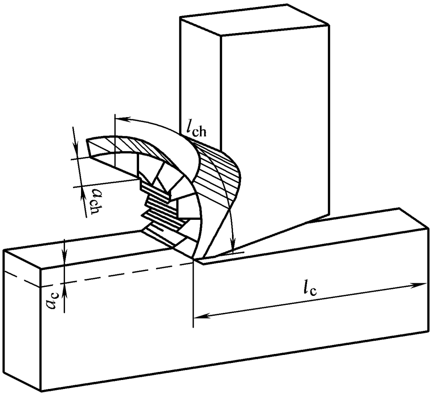


图 2-3　切屑的收缩

收缩系数 ξ 直观地反映切削的变形程度，被切削材料的塑性越好，刀具的前角越小，ξ 值越大，说明切削变形程度较小。在切削中碳钢时，收缩系数一般为 $\xi = 2 \sim 3$。

2.2.3　切屑的类型

切屑在形成过程中，除了产生切屑收缩现象外，还由于切削条件的变化，形成不同形态的切屑，如带状切屑、挤裂切屑、单元切屑和崩碎切屑等，如图 2-4 所示。

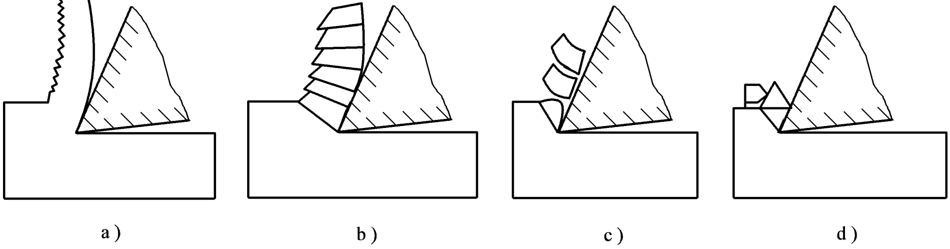


图 2-4　切屑类型

a）带状切屑　b）挤裂切屑　c）单元切屑　d）崩碎切屑

（1）带状切屑　带状切屑为长条状。它与刀具前面接触的底面光滑，上面

呈毛茸状，用放大镜观察，可以看到每个单元很薄的条纹，如图 2-4a 所示。当采用小进给量、切削速度较高、切削塑性较大的金属材料时，切削的滑移面上塑性变形不充分，还没有达到破裂强度时，就容易形成连续不断的带状切屑。形成这类切屑时，切削比较平稳，切削力的波动较小，可获得较好的表面质量。但是这类切屑如果无序地排出，会杂乱地缠绕刀具和工件，影响生产效率和安全。因此，应采取断屑或有序排屑措施，相关内容将在第 4 章介绍。

（2）挤裂切屑　当刀具前角较小、采用较低的切削速度和大进给量切削钢材等塑性较大的金属时，滑移面上的塑性变形比较充分，当达到材料的破裂强度时，滑移面上局部被挤裂，与前面接触的底面光滑，并有明显的裂纹，但还相互连接未被完全折断，切屑则呈锯齿状，从而形成挤裂切屑，如图 2-4b 所示。当切屑达到一定长度时，会因自重或摆动力作用而有规律的折断切离，从而引起切削力的波动，切削力不太平稳，表面质量较差。

（3）单元切屑　单元切屑又称粒状切屑。在用低速、大进给量切削塑性较大的金属时，若整个滑移面上的切应力超过了材料的破裂强度，产生的裂纹贯穿切屑端面，切屑则以单元形式脱离被切削件基体，而形成粒状切屑，如图 2-4c 所示。或当采用低切削速度、大进给量、刀具前角较小的条件下，切削硬度较高、韧性较低（如淬火钢）时，也容易出现粒状切屑。形成粒状切屑时，切削力波动很大，切屑状态不平稳，表面质量也很差。因此，在一般情况下，应避免出现这种切削。

（4）崩碎切屑　在采用刀具前角小、进给量较大，切削如铸铁等脆性材料时，由于材料的塑性小，抗拉强度较低，当刀具切入后，贴近切削刃和前面的金属几乎未经塑性变形，即在滑移面上被挤裂或在拉应力下脆断，形成不规则的碎块状切屑，如图 2-4d 所示。形成崩碎切屑时，切削力产生波动和冲击，切屑与刀具前面的接触长度较短，切削力和切削热多集中在切削刃附近，刀具容易崩刃和磨损。同时，块状的切屑在裂开与被切削件基体分离时，会在已加工表面形成凸凹不平的断裂面，影响表面质量。同时，对清理和安全造成不利的影响。

2.3　切削要素

切削要素是描述金属切削量和切削运动的参数，也是调整机床、计算切削力和制定工时定额、核算成本等所必需的参数。切屑要素分切削用量要素和切削层横截面要素两类。

2.3.1　切削用量要素

切削用量是背吃刀量、进给量和切削速度总称，俗称切削用量三要素。车削

加工的切削用量如图 2-5 所示。合理选择切削用量与提高加工质量和生产效率有着密切关系。

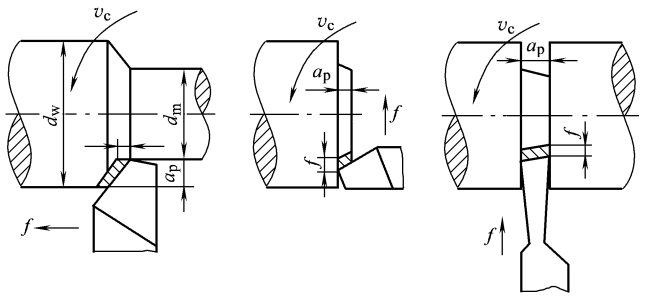


图 2-5　车削加工的切削用量

1. 背吃刀量（a_p）

在工件上，待加工表面与已加工表面之间的垂直距离，称为背吃刀量，用 a_p 表示，单位 mm。背吃刀量反映刀具每次吃进工件的深度，所以又称切削深度。对于在圆柱面上切削，(图 2-5a)，背吃刀量 a_p 为

$$a_p = \frac{d_w - d_m}{2} \qquad (2\text{-}2)$$

式中　a_p——背吃刀量（mm）；

d_w——工件待加工表面直径（mm）；

d_m——工件已加工表面直径（mm）。

2. 进给量（f）

主运动构件每旋转一周，刀具沿进给运动方向上移动的距离，称为进给量，用 f 表示，单位 mm/r。进给量反映了进给运动和主运动之间的移动关系和进给运动的快慢。

在车削过程中，又分为纵向进给量和横向进给量。

（1）纵向进给量　沿车床床身导轨方向，即工件回转轴线方向的进给量，如图 2-5a 所示。

（2）横向进给量　垂直于车床床身导轨方向的进给量，如图 2-5b、c 所示。

车削时，进给运动有时还用实际进给速度表示，即

$$v_f = nf \qquad (2\text{-}3)$$

式中　v_f——实际进给速度（mm/min）；

n——主运动转速（r/min）；

f——进给量（mm/r）。

3. 切削速度（v_c）

刀具切削刃上的某一点，相对于待加工表面在主运动方向上的瞬时线速度称为切削速度，单位 m/min。切削速度是切削过程中重要的物理量，是衡量主运动量的参数。在实际工作中，总是根据工件材料、刀具材料以及切削内容选择合理的切削速度，再根据选定的切削速度和待加工表面的直径计算出每分钟的转速。当车削圆柱面时，它们的相互关系为

$$v_c = \frac{\pi d_w n}{1000} \tag{2-4}$$

$$n = \frac{1000 v_c}{\pi d_w} \tag{2-5}$$

式中　v_c——切削速度（m/min）；

d_w——待加工表面直径（mm）；

n——车床主轴转速（r/min）。

对于旋转体工件，在转速一定时，由于切削刃上各点的回转半径不同，切削速度也不相同，在计算时，习惯上应以最大切削速度为准。如切削外圆时（图 2-5a），应计算待加工表面的速度，钻削时计算钻头外径处的速度。在车端面和切断时，如图 2-5b、c 所示，由于被切削外径随进给量逐渐变小，并趋于零，应以切削的初始直径计算切削速度。

【实例 2-1】　切削用量计算实例

在 C620-1 型车床上，用 YT15 硬质合金车刀车削直径 $d_w = 80$mm 的中碳钢工件，拟选取切削速度 $v_c = 100$m/min，试选择车床主轴转速。

解：根据式（2-5）

$$n = \frac{1000 v_c}{\pi d_w} = \frac{1000 \times 100}{\pi \times 80}\text{r/min} = 398\text{r/min}$$

选取该车床标定的相近主轴转速为 380r/min。

验证：在选取 460r/min 时，实际切削速度根据式（2-4）

$$v_c = \frac{\pi d_w n}{1000} = \frac{\pi \times 80 \times 380}{1000}\text{m/min} = 95.5\text{m/min}$$

实际切削速度小于拟选的切削速度，可用。

2.3.2　切削层横截面要素

切削层是指工件每回转一周时，主切削刃从待加工表面上被切除的那一层金属，如图 2-6 所示。切削层在工件轴向水平截面上截取的截面，称为切削层横截面，它是在切削变形前的理论横截面。如图中的平行四边形 *ABCD*，是当刀具主偏角为 κ_r 时切削层的横截面。当背吃刀量 a_p 和进给量一定时，决定切削层横截

面形状的主要因素是刀具的主偏角 κ_r 的变化，当 $\kappa_r = 90°$时，则为矩形，如图 2-6 右侧断面图。

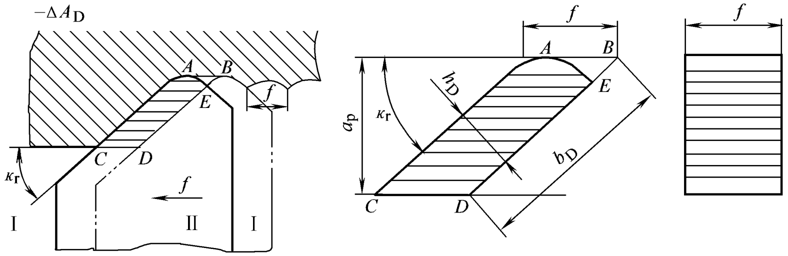


图 2-6　切削层横截面要素

切削层横截面要素包括以下几个内容：

（1）切削层厚度　在切削层横截面内，垂直于过渡表面测得的切削层尺寸，称为切削层厚度，用 h_D 表示，形成公称厚度为

$$h_D = f\sin\kappa_r \tag{2-6}$$

参数 h_D 是切削层的理论厚度。由于在切削过程中，切削层在形成切屑时会形成切屑收缩现象，所以切屑的实际厚度与切削层的厚度不同。

（2）切削层宽度　在切削层横截面内，平行于过渡表面测得的切削层尺寸，称为侧吃刀量，用 b_D 表示，切削层宽度为

$$b_D = \frac{a_p}{\sin\kappa_r} \tag{2-7}$$

（3）切削层横截面积　指切削层在横截面内的面积，用 A_D 表示，切削层横截面积为

$$A_D = h_D b_D = f a_p \tag{2-8}$$

式（2-8）所计算的面积 A_D 是名义切削层横截面积。实际上，当刀具副偏角 $\kappa_r' \neq 0°$，切削刃从位置 I 移至位置 II 后，剖面 ABE 的面积 ΔA_D 残留在已加工表面上。所以，实际切削层横截面积 A_{De} 为

$$A_{De} = A_D - \Delta A_D \tag{2-9}$$

从以上的表述可以看出，影响切削层横截面的主要因素是刀具主偏角 κ_r。当改变主偏角 κ_r 时，其横截面积不变，即切削效率不变，但切削层的厚度和宽度会发生变化，这些变化将影响刀具的强度、受力分布和散热状况。

2.3.3　切削用量的合理选择和选择顺序

合理选择切削用量的目的是，在保证加工质量的前提下，对切削用量三要素进行科学的搭配与协调，充分发挥机床的动力性能和刀具的切削潜能，取得良好

的切削效果，以获得高的生产效率和低的加工成本。

1. 选择切削用量的基本原则

1）用根据工件材料的塑性、硬度等综合性能和工件的刚度状况，以及毛坯料的初始状态，选择合理的切削用量。

2）应针对切削加工的内容选择，以兼顾产品质量和生产效率的统一，并有所侧重。

3）应根据刀具材料选择，以提高刀具的寿命，保证刀具正常的使用寿命。

4）应根据刀具的几何角度选择，以充分挖掘刀具的切削优势。

5）了解车床允许的动力和扭矩，以及机床各部等工艺系统的刚度和强度，在不超过允许的范围内，充分发挥它们的潜力。

以上几条基本原则，应根据具体情况有所侧重。比如在粗加工时，应在充分发挥机床潜力、提高切削效率的基础上，使刀具的磨损量最小；在精加工时，应首先保证加工表面的尺寸精度、形位精度和表面粗糙度均达到图样要求，同时兼顾合理的刀具寿命。

2. 切削用量的选择顺序

在切削过程中，无论是增大背吃刀量或进给量，还是提高切削速度，都能在一定的时间内切除较多的金属，提高生产效率。但是，在这三个因素中，对切削功率和刀具寿命影响最大的是切削速度，其次是进给量，背吃刀量的影响最小。所以，在一般情况下，应首先考虑选取尽可能大的背吃刀量 a_p，其次选取较大的进给量 f，最后在机床动力等允许的范围内，并兼顾刀具合理寿命的条件下，选取尽可能大的切削速度。因此，通常切削用量的选择顺序是

$$a_p \rightarrow f \rightarrow v_c \tag{2-10}$$

2.3.4 切削用量参数的选择

切削用量参数应根据工件和刀具材料、加工内容以及机床的额定负载选择。

1. 背吃刀量 a_p 的选择

背吃刀量应根据加工余量和机床额定负载确定。

1）在粗加工时，在留有足够的半精车和精车的加工余量后，只要条件允许，可以取单边加工量 h（留出后加工余量）作为一次性进给的背吃刀量。当加工余量过大，或工艺系统刚度受限时，才分成几次进刀。几次进刀的背吃刀量分配比例为

$$a_{p1} = \left(\frac{2}{3} \sim \frac{3}{4}\right)h$$

$$a_{p2} = \left(\frac{1}{3} \sim \frac{1}{4}\right)h$$

2）当工艺系统或工件刚度较差时，如细长轴类，应选取较小的背吃刀量。

3）当铸件、锻件等毛坯件表皮有冷硬层时，应使背吃刀量尽量超过表皮，以避免切削刃刀尖接触冷硬层而损坏。

4）在断续切削时，应适当减小背吃刀量，以降低冲击荷载对切削刃的断续冲击。

5）背吃刀量的参数：

粗加工：根据具体情况而定；

半精加工（R_a 为 3.2～6.3μm）：a_p＝0.5～2mm；

精加工（R_a 为 0.8～1.6μm）：a_p＝0.1～0.4mm。

在采用硬质合金刀具进行精加工时，应考虑刀尖圆弧和刃口圆弧的挤压和摩擦作用，背吃刀量不宜过小，一般应大于 0.5mm。

2. 进给量 f 的选择

进给量应根据加工内容、工件及刀具材料和工艺系统的刚度选择。

1）粗加工时，应结合所确定的背吃刀量，在不超过机床进给机构强度，不产生振动等条件下，选取尽量大的进给量。

2）精加工时，进给量主要受尺寸精度和表面粗糙度要求的限制。通常要求表面粗糙度较小时，应选取较小的进给量。但当进给量过小时，切削厚度过薄，使刀具磨损加剧，表面粗糙度反而加大。

3）刚性较好、材料切削性能较好的工件，在不引起弯曲变形的情况下，应选取较大的进给量。

4）强度和硬度较高的刀具，在保证刀具正常使用寿命的前提下，尽量选取较大的进给量。

粗加工常用进给量和切削速度参数见表 2-1。

表 2-1　粗加工常用进给量和切削速度参数

刀具材料	f、v_c 值	工件材料				
		一般钢材	淬火钢类硬材	不锈钢	铸铁	非铁金属
高速钢	f/(mm/r)	0.2～0.5	—	0.25～0.5	0.3～0.6	0.3～0.6
	v_c/(m/min)	24～25	—	10～13	18～24	40～45
硬质合金	f/(mm/r)	0.1～0.5	0.08～0.1	0.1～0.5	0.1～0.5	0.1～0.5
	v_c/(m/min)	90～105	10～30	90～105	70～85	180

3. 切削速度 v_c 的选择

切削速度应在机床动力和刚度允许的条件下，兼顾刀具的经济寿命，选取较大的切削速度。

1）粗加工时，根据已选定的背吃刀量和进给量，选择不超过动力负载的最

大切削速度。

2）被加工材料切削性能较差时，切削速度应选得低些，如加工灰铸铁的切削速度应比中碳钢低；反之，加工铝、铜及其合金时，切削速度应比中碳钢高。

3）刀具材料切削性能越好，切削速度应越高，如硬质合金刀具的切削速度，比高速钢刀具高；而涂层硬质合金、陶瓷、金刚石等刀具的切削速度又比硬质合金高得多。

4）精加工时，应主要考虑加工精度和表面质量，并应避开生成积屑瘤的速度范围。

5）工艺系统刚性较差时，应适当降低切削速度。

粗加工常用切削速度参数，可参考表 2-1。

2.4　切削力和切削功率

2.4.1　切削力的概念

切削力是金属切削过程中最基本的物理现象，是设计机床、刀具和工艺分析的重要依据。切削力是刀具作用在被切削工件上，使材料发生变形，并将多余的金属层变为切屑所需要的力。

1. 切削力的来源

切削时作用在刀具上的力主要来源于两个方面（图 2-7）：

（1）变形抗力　在切削过程中，由于刀具的推挤作用，使材料产生弹性变形抗力和塑性变形抗力，即刀具前面受到切屑底部的正压力 F_{nr}。

（2）摩擦阻力　刀具前面与切屑之间摩擦阻力 F_{fr} 以及后面与被切削表面之间的摩擦阻力 F_{fa}。

由变形抗力和摩擦阻力形成作用在刀具上的切削合力 F，称为总切削力。其反作用力 F' 作用在工件上。

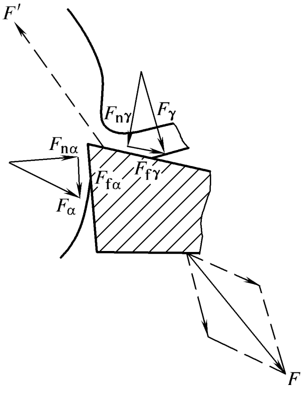


图 2-7　切削力的来源

2. 切削力的分解

由于总切削力的大小和方向不易测量，为了便于分析切削力的作用和计算切削力的大小，通常把总切削力 F 分解为三个相互垂直的分力 F_c、F_p、F_f，如图 2-8 所示。

（1）主切削力 F_c　如果我们把车刀摆放在刀架上，并接触转动的工件时，车刀会被工件打落在垂直于地面的方向上，这个把车刀打落的力叫切向力。切向力是沿着切削速度方向上的力，这个分力最大，是主要切向力，所以又称主切削

力 F_c。它是总切削力 F 在主运动方向上的分力，是计算机床主运动机构和刀杆、刀片强度以及设计机床夹具、选择切削用量的主要依据。

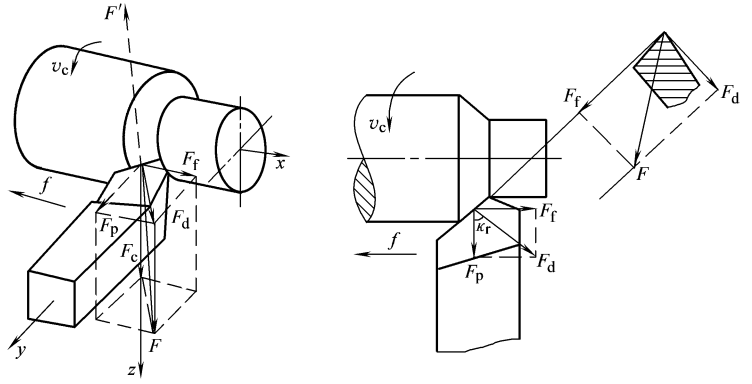


图 2-8　切削力的分解

（2）径向力 F_p　如果车刀没有夹紧，这时，当车刀径向移动并接触工件时，车刀就会后退，这个使车刀后退的力叫径向力，又称背向力 F_p。它是总切削力垂直于进给运动方向上的分力。当纵车外圆时，在该方向上无相对运动，但它作用在机床工艺系统刚性最差的方向上，使工件在水平面内弯曲，容易引起切削振动，从而影响工件的尺寸精度和形状精度。

（3）轴向力 F_f　如果车刀没有夹紧，当车刀轴向移动并接触工件时，就会被切削表面推向倾斜，这个力就是轴向力，是总切削力在进给方向上的分力，又称进给力 F_f。它作用在进给方向上，消耗功率少，也不容易引起工件的变形。主要用于验算车床进给系统主要构件的强度。

在切削过程中，刀具、工件和机床在这三个方向上的承载力必须分别大于这三个力，才能切下切屑，达到切削的目的。

2.4.2　切削力的计算

（1）主切削力　由图 2-8 可知：由 F_p 和 F_f 组成合力 F_d，即

$$F_d^2 = F_p^2 + F_f^2$$

由 F_c 和 F_d 组成合力 F

$$F^2 = F_c^2 + F_d^2 = F_c^2 + F_p^2 + F_f^2,\text{即}$$

$$F = \sqrt{F_c^2 + F_p^2 + F_f^2} \tag{2-11}$$

式中　F——总切削力（N）；

F_c——主切削力（N）；

F_p——背向力（N）；

F_f——进给力（N）。

在 F_c、F_p 和 F_f 三个力中，主切削力 F_c 是最主要的力，它消耗了切削总功率的90% ~94%左右，所以它是验算机床与夹具中主要零部件的强度和刚性、确定机床电动机功率以及设计和使用刀具的主要依据，也是在切削加工时选择切削用量应该考虑的重要因素。

（2）主切削力的近似计算　通常主切削力常用金属材料的单位切削力作近似计算。

单位切削力是指在单位面积上的主切削力，即

$$p = \frac{F_c}{A_c} = \frac{F_c}{a_p f} \tag{2-12}$$

式中　p——单位切削力（N）；

F_c——主切削力（N）；

A_c——切削面积（mm）^{2}；

f——每转进给量（mm/r）；

a_p——背吃刀量（mm）。

主切削力近似计算式为

$$F_c = pfa_p \tag{2-13}$$

式中　F_c——主切削力（N）；

p——材料的单位切削力（N/mm^2）（表2-2）；

f——每转进给量（mm/r）；

a_p——背吃刀量（mm）。

表2-2　常用金属材料的单位切削力　　（单位：N/mm^2）

材料分类	材料名称	牌　号	单位切削力 p
钢	易切钢	Y40Mn	1700
	碳素结构钢	45	2000
	合金结构钢	40Cr	2000
	不锈钢	1Cr18Ni9Ti	2500
铸铁	灰铸铁	HT200	1140
铸造合金	铸造锡青铜	ZCrSn5Pb5Zn5	700
	铸造铝合金	ZAlSn7Mg	720

从表2-2中可以看出，不同的材料，由于强度、硬度以及塑性的不同，单位切削力 p 也随之不同，金属材料的强度、硬度越高，单位切削力就越大；强度和硬度相近的材料，其塑性越大，则单位切削力越大。

【**实例 2-2**】　主切削力计算实例

粗车 40Cr 的轴，拟选取背吃刀量 $a_p = 4\text{mm}$，进给量 $f = 0.8\text{mm/r}$，求主切削力。

解：查表 2-2 得，40Cr 的单位切削力 $p = 2000\text{N/mm}^2$

根据式（2-13）

$$F_c = pfa_p = 2000 \times 0.8 \times 4\text{N} = 6400\text{N}$$

2.4.3　切削功率

切削功率是指在切削过程中消耗的总功率，用 P 表示。当车削外径时，在 F_p 方向上，它的运动速度等于零，不消耗功率；在 F_f 方向上的运动速度也很小，一般只占总消耗功率的 1% ~5%。所以，习惯上，当选择合适的进给量时，F_f 所消耗的功率可忽略不计，故一般只计算主切削力 F_c 所消耗的功率 P_c。根据功率概念，得

$$P \approx P_c = F_c v_c \tag{2-14}$$

为了便于按习惯计算，将切削功率变换成千瓦（kW）

由于 $1\text{N} = \dfrac{1}{9.8}\text{kgf}\quad 1\text{min} = 60\text{s}$

所以

$$P_c = F_c v_c = 1\text{N} \times 1\text{m/min} = \frac{1}{9.8}\text{kgf} \times 1\text{m/60s} = \frac{1\text{kgf}}{9.8 \times 60} \times \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$1\text{kgf} \times \text{m/s} = \frac{1}{101.97}\text{kW}$$

所以

$$P_c = \frac{1\text{kgf}}{101.97 \times 60} \times \frac{\text{m}}{\text{s}} = \frac{1\text{kgf}}{999.3 \times 60} \times \frac{\text{m}}{\text{s}} \approx \frac{1\text{kgf}}{1000 \times 60} \times \frac{\text{m}}{\text{s}} = \frac{F_c}{1000 \times 60} v_c$$

即

$$P_c = \frac{F_c v_c}{1000 \times 60} \tag{2-15}$$

式中　P_c——切削功率（kW）；

F_c——主切削力（N）；

v_c——切削速度（m/min）。

习惯上，在操作前，总是首先选择切削用量，所以我们将式（2-13）代入式（2-15）中，即

$$P_c = \frac{F_c v_c}{1000 \times 60} = \frac{pfa_p v_c}{1000 \times 60} \tag{2-16}$$

式中　P_c——切削功率（kW）；

p——材料的单位切削力（N/mm^2），见表 2-2；

f——进给量（mm/r）；

a_p——背吃刀量（mm）；

v_c——切削速度（m/min）。

这是在实践中计算切削功率最直观的计算式。

2.4.4 切削功率的校验

学会计算切削功率，就是切削工件时，在确定了钢材种类和切削用量后，必要时计算出所消耗的功率，看是否超过机床主电动机的额定功率，以免超载。

校验是否超载，应满足以下条件

$$P_c = \frac{F_c v_c}{1000 \times 60} \leqslant P_E \eta \tag{2-17}$$

式中 P_c——切削功率（kW）；

p——材料的单位切削力（N/mm^2），见表2-2；

f——进给量（mm/r）；

a_p——背吃刀量（mm）；

v_c——切削速度（m/min）。

P_E——机床主电动机额定功率（kW）；

η——机床传动效率，一般取0.75~0.85。

【实例2-3】 切削功率的校验计算实例

在CA6410车床上，车削45钢的工件，切削用量选用 $a_p=5mm$，$f=0.5mm/r$，$v_c=80m/min$。

已知车床主电动机额定功率 $P_E=8kW$，问切削功率是否超载？

解： 从表2-2查处45钢的单位切削力 $p=2000N/mm^2$

根据式（2-16），求 P_c

$$P_c = \frac{pfa_p v_c}{1000 \times 60} = \frac{2000 \times 0.5 \times 5 \times 80}{60000} kW = 6.67kW$$

根据式（2-17）

$$P_c \leqslant P_E \eta$$

取 $\eta=0.75$，则车床能承载的切削功率为

$$P_E \eta = 8 \times 0.75kW = 6kW$$

$$6.67kW > 6kW$$

即在极限边界，可能超载，即有可能产生“闷车”现象。“闷车”可能损坏刀具，并使机床受损，应避免这种现象发生。解决的办法一是调整切削用量，使其中一项或两项降低，如果从延长刀具使用寿命考虑，则应适当降低切削速度；二是改变车刀的几何角度，特别是增大车刀的前角和主偏角，以降低切削力，因

为刀具的几何角度与切削力和切削功率均有直接关系。

2.5　切削热

切削热和切削力是切削过程中相互并存的物理现象，研究切削热的产生原因和传导途径，以及它对刀具和工件的影响，具有重要的实用意义。

2.5.1　切削热的产生

在切削过程中，机床必须消耗能量（电能），以克服切削力。这些所消耗的能量，约 98% ~99% 都转变为热能。因此，切削热和切削力有直接的因果关系。

切削热的来源主要有两个方面：

1）在切削刀具作用下，切削层金属、工件表面层金属和切屑的弹性变形和塑性变形所消耗的功转换成热能；

2）在切屑与刀具前面、工件与刀具后面之间的摩擦所消耗的摩擦功。

实际上，金属的切削变形是在金属层滑移面上晶粒之间的摩擦，属于金属的内摩擦；而切屑、刀具、工件间的摩擦是外摩擦。所以，可以说，在切削过程中产生的切削热是由各种摩擦产生的。

2.5.2　切削温度的分布

切削温度一般指切削区域的平均温度，它的高低受切削热的产生量和传散条件两方面的综和影响。

切削热通过切屑、工件、刀具和周围介质传散。由于切屑、工件、刀具所处的位置和条件不同，它们传散的热量也不同。一般情况下，以中等切削速度切削钢材时，如果不用切削液，大部分切削热被切屑带走，其余的传入车刀、工件和周围空气。所以各切削区域的温度也各不相同。图 2-9 是硬质合金刀具在某一切削条件下，切削钢材时，切削温度的分布状况。

从图 2-9a 看出，切削温度大多分布在刀具上，切屑次之，工件上的温度最低。而最高温度集中在刀尖附近，这是因为在刀尖处切削层的变形最大，切屑与刀具的摩擦也最大，摩擦热量集中在这里，不能尽快地传导出去所致。

刀具前面的切削温度在刀尖处最高，并向外层依次递减，如图 2-9b 所示。这是因为在刀尖处是产生热量的区域，其余部分只是由于热量的传导，才使得温度升高，况且有较好的热传导和热辐射条件，从而温度较低。

在切削塑性材料时，因为刀具前面与温度较高的切屑接触并产生摩擦，后面则与温度较低的工件接触，所以前面比后面的温度高；但在切削脆性材料时，切屑呈崩碎状态，与前面之间的接触摩擦很小，所以最高温度区在接近切削刃的后

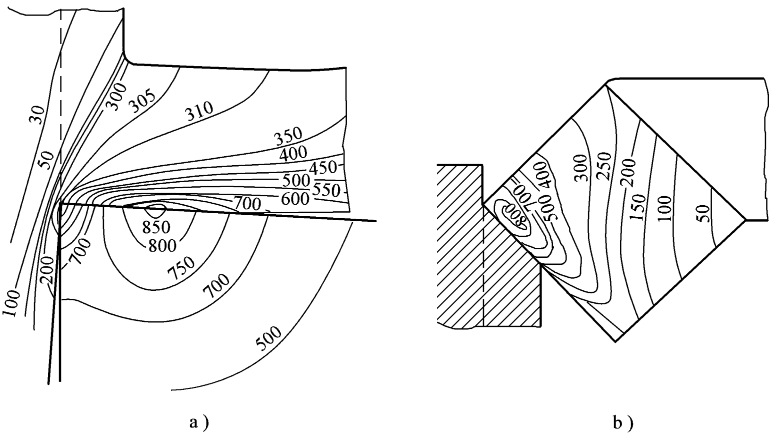


图 2-9　切削温度的分布状况

面，其次在接近切削刃的前面上。

研究和分析切屑温度的目的，就是设法如何控制或降低刀具上的最高温度，以防止刀具磨损过快。

2.5.3　控制切削温度的措施

切削热是通过切削温度影响切削过程的。对切削加工影响的主要表现有：

1）过高的温升会导致工件材料的内部应力和组织发生变化，从而使综合性能发生变化，影响使用性能。

2）切削热会引起工件的热变形，产生热胀现象，影响工件的尺寸精度，特别是在自动车床上，如果工件的温度不稳定，必然引起尺寸的不稳定而出现精度误差。

3）当刀具的切削温度超过它的相变温度时，刀具材料的金相组织发生变化，使硬度明显下降。如高速钢刀具达到相变温度 550～600℃时，因硬度降低而发生急剧磨损。

4）切削塑性较高的材料时，在一定温度和切削压力的双重作用下，刀具切削表面与切屑或工件之间易产生粘接现象，并在接触面间的相对移动中，粘接处产生撕裂，是刀具表面的微粒流失，产生粘接磨损。

5）在进行高速切削时，刀具与切屑或工件的新鲜切削表面相接触，产生刀具材料与工件材料的相互扩散。如用硬质合金刀具切削钢件时，从 800℃开始，硬质合金中的 C_0、W、Ti 等元素会逐渐扩散到钢件、切屑中去，而切屑、工件等的 Fe 也向硬质合金中扩散，并在刀具表面形成一层低硬度、高脆性的复合碳化物，使刀具硬度降低，产生化学性质的磨损。

为减低切削温度对切削过程的影响，一般采取如下措施：

1）在保证切削刃部强度的前提下，适当地增大刀具的前角 γ_0，减少切削层金属的塑性变形程度，以减少切削热的产生。如车削 45 钢的工件，在 $a_p = 3\text{mm}$，$f = 0.1\text{mm/r}$，$v_c = 105\text{m/min}$ 的切削用量条件下，当 $\gamma_0 = 0°$时，切削区的平均温度为 810℃；当其他条件不变，只是将前角改变为 $\gamma_0 = 18°$时，切削区的平均温度则为 665℃。可见，加大刀具前角则显著降低切削温度。

2）在切削刚性较好的工件时，可适当减小主偏角 κ_r，以使参与切削的切削刃变宽，改善刀具的散热条件。

3）当切削加工余量较大的工件时，在机床进给机构强度允许的条件下，采取增大进给量和背吃刀量的同时，适当降低切削速度的方法，即在不影响生产效率的基础上，既降低了切削温度，又延长了刀具的使用寿命。

4）合理使用切削液，是降低切削温度有效简便的方法。切削液在切削过程中的作用是：

①冷却作用。切削液能迅速吸收并带走切削区域大量的切削热量，降低刀具和工件的温度，从而延长了刀具的使用寿命，并防止因热变形而引起的尺寸误差。

②润滑作用。在切削过程中，切屑沿刀具前面流动时，产生很大的摩擦力，切削液分子能迅速渗透到切屑与刀具之间微小的缝隙中，形成一层薄薄的吸附膜，减少了刀具与切屑和工件间的摩擦，使排屑顺畅，提高工件的表面质量。

③降低切削力和切削热。切削液分子渗透到刀具切入金属层所形成的裂缝中，并使其扩大，使切削较容易脱开被切削工件，相应地降低切削力和切削热，从而减少了刀具的磨损。

④清洗作用。切削液能清洗粘附在工件、刀具和机床导轨上细小的切屑和杂物，在加工深孔时，加注有一定压力的切削液，将切削液及时冲走，以免影响工件的表面质量和刀具寿命。

切削热虽然能给切削加工带来不利影响，但是，我们有时可利用切削热对淬硬的工件进行加工。比如在加工淬火钢工件时，将硬质合金刀具刃磨成负前角进行高速切削，利用切削时产生的大量切削热，使工件切削层金属急剧升温，待达到退火温度时，使其退火软化，可较容易地完成切削加工，将不利因素转化为有利因素。

2.5.4　切削液

对切削液的基本要求是：吸热量大、润滑性能好，对机床无腐蚀作用，不易燃，不易变质，不损害人体健康以及价格低廉等特点。

1. 切削液的种类

按其性能，切削液可分为两大类：

（1）乳化液　低浓度乳化液是将乳化油用15～20倍的苏打水稀释而成，它的流动性好，比热容大，可以吸收大量的切削热量。低浓度乳化液主要作用是在粗加工时冷却刀具和工件，既延长刀具使用寿命，又减少工件的热变形。但由于水的成分较多，所以润滑和防锈效果较差。如果在低浓度乳化液中加入适量的油性剂、极压添加剂（如硫、氯等）和防腐剂，可提高润滑和防腐性能。高浓度乳化液中乳化油含量在5%～15%范围内，它的润滑效果较好，主要用于精加工。

（2）切削油　切削油是以油类为主要原料的切削液，主要有矿物油（柴油或机油）、植物油（豆油或菜籽油等）、动物油、硫化油和其他混合油等。它们的共同特点是黏度大、流动性差、比热容小，即散热效果较差。主要用于精加工，起润滑作用，以改善切削性能，可提高工件的精度和表面质量。

在精加工时，通常采用黏度较低的矿物油作为切削液，如10号、20号全损耗系统用油或轻柴油、煤油等。但它们的润滑效果相对较差，有时在纯矿物油中加入极压添加剂等，以提高润滑作用。

动、植物油有较强的渗透性，但由于黏度较大，影响了渗透力，所以往往在动、植物油中加入适量的柴油、煤油等，起稀释作用；硫化油也是以植物油为本，添加活性分子，提高它们的流动性能，使它们迅速渗透和扩散到切削裂缝中去，并形成牢固的润滑膜，提高润滑效果。

2. 切削液的选用

切削液应根据工件材料、刀具材料、加工内容和工艺要求的具体情况选用。

（1）按工件材料选用

1）钢件粗加工，一般用低浓度乳化液，精加工时，用矿物油或极压切削油。

2）在粗加工灰铸铁等脆性金属时，由于材料的抗拉强度低，塑性变形小，当刀具切入后，即在滑移面上被挤裂成崩碎切屑，与刀具前面的接触摩擦力很小，前面的切削温度相对较低，因此，一般不用切削液。精车时，为了减小工件的表面粗糙度值和切削热，可选用煤油或5%～10%的高浓度乳化液。

3）在粗加工铜或铝等非铁金属及其合金时，一般不加切削液。在精车时，铝可加注适量的煤油，铜可加注7%～10%的乳化液。

4）切削镁合金时，严禁使用切削液，以防止燃烧起火。

（2）按加工内容选用

1）粗加工时，由于切屑量大，产生较多的切削热，使切削区域的温度较高，刀具磨损较大，这时应选用以冷却为主的切削液，以降低切削温度。

2）精加工时，对工件精度及表面质量要求较高，应选用以润滑为主的矿物油或极压切削油。

3）当加工丝锥、扳牙、螺纹塞规或螺纹环规等精密工具、量具时，由于材料的强度和精度要求较高，所以应选用经过稀释和添加活性剂的植物油或硫化油。

4）在深孔加工时，刀具处于半封闭状态下工作，使排屑困难，容易造成切屑乱绕和聚集，影响切削的正常运作，还可能损伤切削刃和工件表面。这时应选用黏度较低的极压切削油，以足够的压力和流量注入，冲射力将切屑及时冲刷出来。

（3）按刀具材料选用

1）高速钢刀具。按工件材料和加工内容选用。

2）硬质合金刀具。硬质合金是由硬度和熔点很高的碳化物和钴、钼等粘接金属，用粉末冶金的方法压制后烧结而成，热硬性高，所以一般不加切削液。但在加工某些硬度高、强度大、导热性差的材料时，应选用以冷却为主的切削液，但必须从开始就应连续地浇注，以避免硬质合金刀片因骤冷产生脆裂。

3. 使用切削液应注意的问题

1）切削液应供应充足，并浇注在切削温度最高的区域，使切削区域温度，特别是刀具的温度迅速降低。

2）切削液应保持均衡的流量，防止忽大忽小，影响工件加工精度的稳定性。

3）切削液应自始至终地浇注，不要等到刀具升温后再加，以免刀具过早地磨损或产生龟裂。

车削常用切削液的选用，可参见表 2-3。

表 2-3　车削常用切削液的选用

加工材料	粗加工	精加工
碳素钢	乳化液、苏打水	高浓度乳化液、极压切削油、硫化油
合金钢	乳化液、极压乳化液	
不锈钢、耐热钢	乳化液、极压切削油、极压乳化油	氯化煤油、煤油加植物油、硫化油、极压切削油
铸铁	一般不用，必要时用压缩空气	一般不用，必要时用煤油或高浓度乳化液
铸钢	一般不用	高浓度乳化液、极压切削油
铜及铜合金	一般不用，必要时用低浓度乳化液、煤油	高浓度乳化液、煤油
铝及铝合金	一般不用，必要时用低浓度乳化液、煤油	高浓度乳化液、煤油、松节油

2.6 影响切削变形的因素

第1章介绍了机床的精度和刚度对切削加工的影响。除此以外，在相同的切削条件下，被切材料、刀具几何参数以及切削用量等因素对切削变形有直接影响，它们影响切削力的大小、切削温度的高低、刀具寿命以及切削效率和切削质量。

2.6.1 工件材料的影响

（1）工件材质　工件材料是通过材料的强度、硬度和塑性影响切削变形的。

1）工件材料的强度和硬度越高，切削变形越大；强度和硬度相近的材料，塑性越高，切削变形也越大；变形抗力和摩擦力越大，总切削力也越大。从而消耗的功率越多，转换成的切削热越多，切削温度则越高。在切削脆性金属时，由于塑性变形小，形成的崩碎切屑与前面摩擦小，所以总切削力小，产生的切削热少，切削温度也较低。

2）工件材料的塑性过高、硬度较低时，切削性较差，应进行热处理，以提高硬度、降低塑性，改善切削性能。

3）工件材料的导热性能越差，由工件和切屑传散出去的热量越少，切削温度就越高。如切削不锈钢等强度、塑性较高的材料时，切削变形较大，产生的切削热较多，而它的热导率小，热量不易传导出去，所以切削温度较高。

（2）材料的内应力　材料的内应力包括材料原来具有的内应力和切削过程中产生的残余应力。

1）当工件材料未经过时效处理和退火、正火等热处理时，在材料内部总残存着组织相对平衡的内应力，在切削过程中，随着切削量的变化，内应力重新分布，从而引起工件的变形。

2）在切削过程中，当切削力消失后，在工件的已加工表层存在着残余应力，如果它们分布不平衡，会使工件产生变形，并可能在已加工表面上出现裂纹，降低工件的疲劳强度，影响工件的切削质量。

2.6.2 车刀几何参数的影响

1）刀具前角 γ_0 影响切削变形和摩擦，对总切削力和切削温度有显著的影响。适当增大前角，可减小切削变形和摩擦，使总切削力减小，产生的切削热量少，切削温度也随之降低。但前角过大，使楔角减小，既影响切削刃的强度，又导致刀具散热体积减小，使散热条件变差，反而使切削温度有所

上升。

2）相同的背吃刀量，改变主偏角 κ_r，则改变切削刃和切屑的散热状况以及切削力方向和大小。

①增大主偏角，主切削刃参与切削的长度和切屑的宽度 b_D 变短，切削热相对集中，散热面积变小，使散热条件变差，切削温度上升。

②增大主偏角，切屑厚度 h_D 增大，改变切削分力 F_D 的作用方向和减小背向分力 F_p 和主切削力 F_c，使切削平稳，如图 2-10 所示。一般情况下，当主偏角 $\kappa_r=60°\sim75°$时，主切削力 F_c 最小。

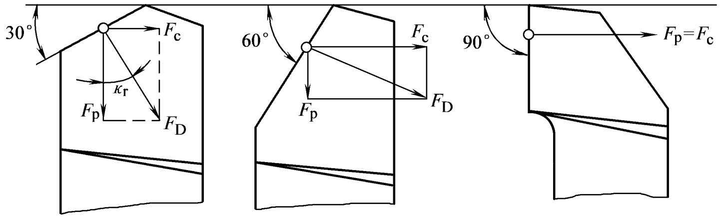


图 2-10　主偏角对切削力的影响

③刃倾角对切削力影响不大，但对 F_P 和 F_c 的影响较为显著。当刃倾角减小时，F_c 变化不大，但使 F_P 增大，F_c 减小。所以当工艺系统刚度较差时，应选用较大的刃倾角，使 F_p 减小，防止切削振动；而在粗加工时，应选用较小或负刃倾角，以提高刀具寿命。

④负倒棱可增强刀具切削刃的强度，但由于刃口迟钝，使切削变形增大，切削力也相应增大。

⑤刀具切削刃，特别是硬质合金刀具的切削刃不可能磨得绝对锋利，总会在刀尖和刃口处有钝圆半径存在，如图 2-11 所示。一般新刃磨的高速钢刀具的刃口钝圆半径 $r_\beta=0.012\sim0.015$mm，硬质合金刀具 $r_\beta=0.018\sim0.026$mm，在切削过程中它们还会逐渐增大。所以，在切削时，切削层内一层很薄的金属层 Δa_c，受到刃口钝圆的挤压，产生弹性变形而不能切除。当刀具离开后，弹性变形回复到 Δh 的高度，表面的金属层的晶格被拉长、扭曲和挤紧，形成了复杂的塑性变形，产生使已加工表面硬度提高的加工硬化现象。硬化层的硬度可达工件硬度的 1.2

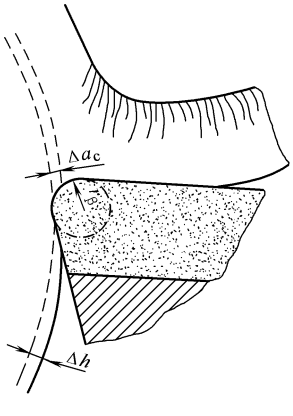


图 2-11　切削加工硬化现象

~2倍，其深度可达0.07~0.5mm。

加工硬化会在以后的切削时，加速刀具磨损，甚至在背吃刀量很小时难以加工；同时，在硬化层内形成残余应力，并常常出现微细的裂纹，降低了工件的疲劳强度和表面加工质量。因此，在半精加工时，应提高刀具刃磨质量，减小刃口的钝圆半径，尽量减轻和避免加工硬化现象。

⑥刀具磨损后，切削刃变钝，正常的几何角度和形状均遭到破坏。一般是前面和后面磨损后，刀具的前角和后角变小，使被切金属的切削变形增加，后面与工件的摩擦加大，从而导致总切削力的增大，以及切削温度的升高。

2.6.3　切削用量的影响

切削用量是影响总切削力 F 和切削温度的重要因素。

（1）背吃刀量 a_p　背吃刀量对总切削力的影响最大，对切削温度的影响最小。

1）增大背吃刀量，使切削面积增大，变形抗力和摩擦力也同步增大。实验测定，当其他参数不变时，背吃刀量增加一倍，总切削力 F 也同步增大约一倍。

2）背吃刀量增大，主切削刃参与切削的长度和切屑的宽度增加，加大了刀具和切屑的散热面积，加大了散热能力，切削温度没有明显的上升。所以背吃刀量对切削温度的影响较小。

（2）进给量 f　进给量增大，使切削厚度和金属的切除量增大，变形抗力和摩擦力增大，从而使总切削力 F 增加，但与背吃刀量的影响程度不同，总切削力 F 只增加背吃刀量的70%~80%。

随着主切削力的增加，产生的切削热也同时增加；进给量增大同时增加了金属的切除量，切屑的热容量增大，带走的热量增多，但切屑宽度 b_D 不变，散热条件未发生变化，所以切削温度没有明显的上升。

（3）切削速度　切削速度对切削温度的影响最大，对总切削力 F 的影响最小，并呈波浪形变化。

1）提高切削速度，单位时间切除的金属量增加，所消耗的功率几乎成比例增加，转化的热量也会成比例增加。

2）提高切削速度，切屑沿前面的流出量增加，其底层与前面的强烈摩擦使摩擦热急剧增加，当其他参数不变时，刀具和切屑的散热条件不变。这样，来不及传导的热量聚集在切削区域，使切削温度升高。

3）切削速度在不同的速度范围和被切材料对切削力有不同的影响。

①在采用高速切削塑性金属时，切削温度急剧上升，使切屑变软，降低了切屑与前面的摩擦系数和变形减小，所以总切削力 F 随着切削速度的提高而减小。

②在容易生成积屑瘤的中速范围（15～30m/min）切削塑性金属时，积屑瘤使刀具的实际前角增大，切削变形减小，使总切削力 F 减小，当积屑瘤达到最大值时，总切削力最小。而积屑瘤逐渐消失时，总切削力也逐渐增大。

③当切削脆性材料时，由于形成崩碎切屑，切削层内部的塑性变形和切屑与前面的摩擦力很小，所以切削速度对总切削力没有显著影响。

根据切削速度对总切削力 F 影响较小的特点，在机床功率不足或工艺系统刚度较小的情况下，在选择切削用量时，应选择较大的切削速度，减小背吃刀量，以减小切削力。

2.6.4　积屑瘤

在某一切削速度范围内，在切削塑性金属时，常常在刀具前面的切削刃处，牢固地粘接着一块与工件材质相同，但硬度高于工件材质 2～3.5 倍的楔块，这就是积屑瘤，又称刀瘤。

1. 积屑瘤的形成过程

在切削塑性金属时，切屑和前面之间的强烈摩擦，产生很高的温度和压力，使前面不断磨损，形成黏附能力较强的新鲜表面；而切屑则在高温高压的摩擦力作用下，底面和上面产生相对滑移，使切屑底面形成流速较慢的滞流层。当它与前面的摩擦力大于金属内部的结合力时，滞流层的流速接近于零时，使被黏附在前面的新鲜表面上，又在后继切屑推动下，滞流层的金属与上层发生剪切滑移而分离出来，并粘接冷焊在前面上，形成积屑瘤的基础。随后，后继切屑流过，新的滞流层在原有的切削条件下，发生新的冷焊，逐层堆积焊合而形成积屑瘤，如图 2-12 所示。

当积屑瘤长大到一定高度时，随着切削温度的增高，金属的强度降低，当切削温度升至 500～600℃时，积屑瘤被软化，便逐渐脱落和消失。所以，积屑瘤的产生、成长和脱落过程是在短时间内进行的，并在切削过程中不断地周期性出现。

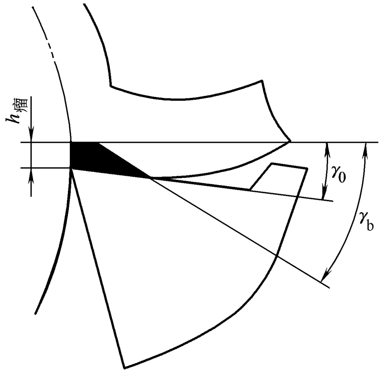


图 2-12　积屑瘤

2. 积屑瘤对切削加工的影响

（1）增大实际切削前角　黏附在刀具前面的积屑瘤，是比被切金属硬得多的硬化金属，能代替刀具进行切削，使实际切屑前角增大到 γ_b，从而减少了切削变形，降低了切削力。

（2）对刀具寿命的影响　积屑瘤覆盖在刀具切削部位，参与切削，从而减

少刀具的磨损，保护了刀具，不同程度地提高了刀具的使用寿命。

（3）影响工件的尺寸精度　当积屑瘤增大到突出于切削刃之外时，改变了原来的背吃刀量，使切削厚度增大了，从而影响了工件的尺寸精度。

（4）积屑瘤的不稳定性带来的影响　积屑瘤是极不稳定的，在高温、振动或外力作用下，会发生局部的断裂或剥落，对切削加工产生影响。

1）积屑瘤从产生到成长脱落的周期变化，使积屑瘤不能形成稳定的切削刃，刀具前角和背吃刀量总在变化，从而引起切削状态不稳定，使总切削力忽大忽小，引起切削振动。

2）周期变化的积屑瘤使背吃刀量发生变化，会在已加工表面上划出纵向沟纹；脱落的积屑瘤，一部分被切屑带走，一部分可能嵌入已加工表面，形成毛刺或硬点，使加工的表面粗糙度值增大。

3）积屑瘤和刀具表面有很强的结合力，当频繁脱落时，会导致韧性较差的硬质合金刀具的颗粒随之脱落，影响刀具的使用寿命。

3. 控制积屑瘤的措施

积屑瘤对切削加工的影响有利有弊，但总不希望它产生，尤其对硬质合金刀，更应避免积屑瘤的产生。控制积屑瘤的措施有以下几点。

（1）降低材料的塑性　切削塑性高、硬度低的金属材料是产生积屑瘤的基本条件。在切屑时，金属变形大，切屑与刀具前面之间的接触面积大，并在高温高压作用下，紧密接触，形成较高的摩擦力，很容易粘接成积屑瘤。因此，在切削这类材料时，应进行降低塑性、提高硬度的热处理，以抑制积屑瘤的产生。

（2）选择合适的切削速度　切削速度是产生积屑瘤的重要原因。在切削塑性高的材料时，应当采用较低的切削速度，切屑流动缓慢，切削温度较低，切屑与前面的摩擦力，尚未超过金属分子的结合力，所以，不会产生积屑瘤；当切削速度较高时，切削温度很高，切屑底层金属变软，摩擦系数明显下降，积屑瘤也不会产生。

实践证明，当切削速度 v_c = 15 ~20m/min 时，切削温度约为 300℃左右，平均摩擦系数最大，外摩擦力也最大，积屑瘤的高度 h_b 达到最大值，如图 2-13 所示。

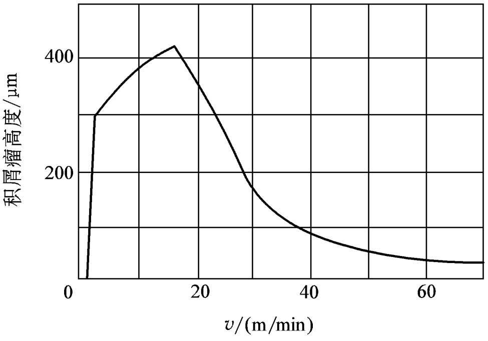
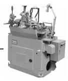


图 2-13　积屑速度对积屑瘤的影响

（3）增大刀具前角　增大刀具前角可减少切削变形，降低总切削力和切削热，使切削温度下降，不容易产生积屑瘤。



（4）减小进给量　减小进给量，将切削厚度变薄，使切屑与前面之间的摩擦压力减弱，接触长度变短，摩擦系数减小，切削温度降低，也不容易产积屑瘤。

（5）合理使用切削液　合理使用切削液，既能降低切削温度，又可减少切屑与前面的摩擦力，从而抑制积屑瘤的产生。

第 3 章　机械加工工艺基础

产品的生产过程是将原材料加工成各种零件，并依次装配为成品的过程。机械加工工艺过程是由一个或多个按一定顺序排列的不同工序，逐步改变毛坯的形状、尺寸、相对位置、表面粗糙度以及某些材料的性能，加工成合格零件的过程。在机械加工过程中，应在保证零件加工质量的前提下，实现良好的经济效益。零件加工质量包含零件的机械加工精度和加工表面质量两个方面；经济效益则包括加工质量、生产效率和低成本生产。本章就机械加工工艺基础的有关问题进行阐述。

3.1　加工精度

加工精度是指零件加工后的实际几何参数，如几何尺寸、几何要素的形状和各表面间相互位置与理想几何参数相符合的程度。实际上，由于受到各种条件的限制，都不可能将每个零件加工得完全一致，绝对准确。因此，根据实际需要，又将加工精度分成若干个等级。

3.1.1　加工精度的内容

零件的加工精度包括尺寸精度、形状精度和位置精度。

（1）尺寸精度　指加工表面的尺寸，如孔径、轴径、长度以及加工表面到基面的位置的精度。尺寸精度用标准公差等级表示，分为 20 级。

（2）形状精度　指加工表面的几何形状，如圆度、圆柱度、平面度等的精度。形状精度用形状公差等级表示，分为 12 级。

（3）位置精度　指加工表面与其他表面或基面间的相互位置，如平行度、垂直度、同轴度等的精度。位置精度用位置公差等级表示，分为 12 级。

尺寸精度、形状精度和位置精度三方面，它们之间既有区别，又有相互联系。通常，形状误差应限制在位置公差内，位置误差应限制在尺寸公差内。一般地，尺寸精度要求高，相应的形状、位置精度要求也高。对于特殊功用零件的某些表面，其几何形状要求较高，但位置精度和尺寸精度不一定要求高，如汽车灯罩等。

3.1.2　获得加工精度的方法

零件表面的加工方法很多，但要获得图样要求的加工精度，必须对设备条

件、技术水平及生产批量等方面综合考虑，并通过技术分析和经济分析，选取技术上可靠、经济上实用的加工方法。

1. 获得尺寸精度的方法

（1）试切法　依靠试切工件→测量尺寸→调整刀具→再试切→再调整，这样反复数次，直到符合规定的尺寸精度，再正式切削出整个加工表面。这种方法对操作者技术水平要求较高，生产效率低，多用于单件或小批量生产中。

（2）调整法　先按试切法调整好工具，并采用定程挡块、行程开关等，使刀具与工件、机床、夹具的相对位置在加工中保持不变，以达到尺寸要求，再成批加工工件的方法。这种方法生产效率高，尺寸精度保持稳定，多用于大批量生产中，但在加工过程中，刀具的磨损、工艺系统的热变形、工件硬度及加工余量的差异等都会影响加工精度，因此应经常抽检工件，并及时进行调整，防止产生批量废品。

（3）定尺寸刀具法　定尺寸刀具法是指直接采用刀具的相应尺寸，保证工件的加工表面的尺寸精度。如钻孔、扩孔、铰孔、拉孔等工件的孔径是靠钻头、铰刀、拉刀的切削刃直径保证的。这种方法生产效率高，多用于大批量生产。但刀具制造复杂，磨损后不易修复，直接影响尺寸精度，成本较高。

（4）自动控制法　自动控制法是指用测量装置、进给装置、切削机构和控制系统构成加工过程的自动循环，当零件尺寸达到加工要求时，机床自动退刀停止加工的加工方法。如在数控机床上，就是通过测量装置、数控装置和伺服驱动机构，控制刀具与零件的相对位置，保证加工工件的表面尺寸精度。这种方法生产效率高、精度高、质量稳定，多用于大批量生产。

2. 获得形状精度的方法

（1）轨迹法　轨迹法是依靠刀具和零件的相对运动轨迹获得所需要的表面几何形状及其精度的加工方法。如在车床上加工圆柱体表面，就是由工件的匀速旋转运动和车刀的直线运动完成的；如靠模加工曲线表面，则是由工件的旋转和车刀在靠模作用下形成的曲线运动完成的。

（2）成形法　成形法是利用成形刀具切削刃的几何形状和切削运动获得工件的表面形状及其精度的加工方法。如用成形车刀加工回转曲面，用螺纹车刀车削螺旋面等。这些加工方法所获得的表面形状精度，取决于成形刀具切削刃的形状精度。

（3）展成法　刀具与工件作具有确定的速比关系的展成切削运动，获得零件的加工表面形状及其精度的加工方法。切削刃是被加工表面轮廓线的共轭曲线，工件的被加工表面则是切削刃在展成运动中形成的包络面。展成法的加工精度取决于展成运动的速比精度和切削刃的形状精度。如滚齿、插齿等齿轮加工方法均属展成法。

3. 获得位置精度的方法

（1）划线找正　对于单件或小批量生产的零件，应在毛坯或后续待加工工件上，结合基准面或各表面的尺寸和位置状况，按加工内容划线，然后按照划好的线找正工件在机床上的位置并装夹。这种方法加工精度和生产效率较低，对操作者的技术要求较高。

（2）夹具保证　夹具以正确的位置安装在机床上，工件按照六点定位原理在夹具中定位并夹紧，工件的相互位置精度由机床精度、夹具精度和安装精度来保证。用夹具装夹工件，定位精度稳定可靠，生产效率也较高，是大批量生产经常采用的方法。

3.2　影响加工精度的因素

在机械加工中，零件的形状精度由刀具精度和机床精度保证，而位置精度主要取决于机床精度、夹具精度和零件的装夹精度等。因此，由机床、刀具、夹具和零件构成的工艺系统的结构要素和运行方式，就决定了零件的加工精度。工艺系统中的种种误差，在不同的具体条件下，以不同的程度反映为不同形式的加工误差。

3.2.1　加工误差

加工误差是指工件加工后的实际几何参数与理想几何参数的偏离程度。在机械加工过程中，由于受到各种不同因素的影响，总会产生加工误差，加工误差的大小实际上表明了加工精度的高低。在实际生产中，往往将加工误差控制在不影响产品的工作要求和使用性能的范围内，采取合理的经济加工方法，以提高生产效率和经济效益。

工艺系统的误差是产生零件加工误差的根源，由工艺系统的误差造成的零件加工误差，称为原始误差。在加工过程中，可能出现的各种原始误差主要分成两部分：

1）与工艺系统本身初始状态有关的主要原始误差，包括原理误差和工艺系统的几何误差。工艺系统的几何误差，又可以归纳为两类：一类是工件与刀具的相对位置在静态时已存在的误差，如机床几何误差、刀具误差、夹具误差、定位误差等；另一类是工件与刀具的相对位置在运动状态下存在的误差，如机床误差（机床主轴的回转误差和导轨的导向误差）、传动链的传动误差等。

2）与切削过程有关的原始误差，包括工艺系统应力效应引起的变形（如工艺系统受力变形、工件内应力引起的变形等），工艺系统热效应引起的变形（如机床、刀具、工件的热变形等）。

总之，在这些原始误差中，一部分与工艺系统本身的结构状态有关，另一部分与切削加工过程有关。

3.2.2　加工原理误差

由于采用近似的加工运动、近似的切削刃轮廓或近似的加工方法而产生的加工误差称加工原理误差，又称原理误差。

要想获得精确的零件加工表面，必须采用理想的加工原理来实现。但在实际生产中，理论上理想的加工原理有时很难实现。这时，往往采用近似的切削刃轮廓或近似的成形方法进行加工，可简化机床及刀具的结构，使加工工艺简单易行，降低生产成本，提高生产效率。比如，在滚齿机上加工齿轮，用成形铣刀加工齿轮或在车床上车削模数蜗杆时，都是采用近似的加工方法。

在滚齿加工时，齿轮滚刀有两种原理误差：一是刀齿齿廓近似齿形产生的误差，即为了制造简便，用阿基米德蜗杆或法向直廓基本蜗杆代替渐开线基本蜗杆造成的；二是由于滚刀刀齿有限，实际上加工出的齿形是一条由若干微小的折线组成的包络线，与理论上光滑的渐开线有差异。在车削模数蜗杆时，由于蜗杆的轴向齿距等于蜗杆的周节（$p_x = \pi m_x$，m_x 为蜗轮模数），由于 π 是无理数，在计算车床交换齿轮时，无法精确选配整数的交换齿轮齿数，只能将 π 化为近似的分数值计算，如$\frac{22}{7}$、$\frac{19\times21}{127}$、$\frac{25\times47}{22\times17}$、$\frac{13\times29}{4\times30}$等，这样车削加工的蜗杆必然存在轴向齿距误差。

虽然由于采用近似的方法，会产生不同程度的加工原理误差，但只要其误差不超过规定的精度要求，近似加工的方法反而能取得比原理上准确的加工方案更好的经济效果。

3.2.3　机床几何精度误差

在切削过程中，工件的运动、刀具相对于工件的相对运动，以及刀具、工件和机床间的相互位置都是靠机床的几何精度保证的。因此，机床的几何精度误差是影响工件加工精度的重要因素。

机床的几何精度误差包括机床的制造和装配误差、安装误差和长期使用后的磨损误差三部分。由于机床的成形运动是由主轴回转的主运动和相对应的进给运动构成的，所以，主轴回转运动的几何精度误差和导轨的几何精度以及传动链的传动误差是机床影响工件加工精度的主要因素。

1. 主轴回转运动误差

主轴回转运动误差是指主轴实际回转轴线相对于理论回转轴线的偏移量。机床主轴是确定工件或刀具位置和相对运动的基准，并将切削运动和动力传递给工

件和刀具，它们的误差直接影响工件的加工精度。

由于主轴部件在制造、装配和使用中，受到各种因素，如主轴轴径的圆度误差、前后支承轴径的同轴度误差、轴承本身的制造误差及磨损、主轴的挠度和支承端面对轴线的垂直度误差，以及受力变形或热变形等影响，使主轴的回转轴线在每一瞬间的空间位置都在变化，造成轴线漂移，形成回转误差。

主轴回转误差的形式分为轴向窜动、径向圆跳动和角度摆动，如图 3-1 所示。

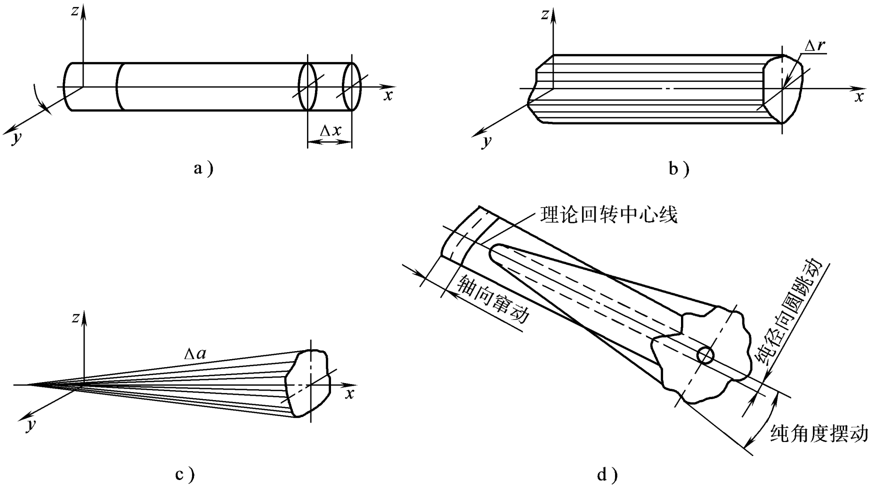


图 3-1　主轴回转误差的基本形式

（1）轴线窜动　轴向窜动是指主轴的瞬时回转轴线沿平均回转轴线方向的轴向漂移运动，如图 3-1a 所示。主轴的轴向窜动误差主要影响工件的端面形状和轴向尺寸精度。如车端面时，会因轴向窜动使得工件忽而靠近、忽而远离刀具，使工件端面产生平面度误差；在车削螺纹时，也会因主轴的轴向窜动而增大工件的螺距误差。

通常，用主轴各瞬时回转轴线的平均位置，即平均回转轴线，代替无法确定位置的理想回转轴线。

（2）径向圆跳动　径向圆跳动是指主轴的瞬时回转轴线作平行于平均回转轴线的径向漂移运动，如图 3-1b 所示。主轴的径向圆跳动误差主要使车削工件的外径或内孔产生圆度误差，并增大工件的表面粗糙度值。

（3）角度摆动　角度摆动是指主轴的瞬时回转轴线与平均回转轴线成一倾斜角，其交点位置固定不变的漂移运动，如图 3-1c 所示。它对工件的形状精度影响较大，如主轴的角度摆动会使外圆或内孔产生圆柱度误差，使镗削加工的内孔产生椭圆形等。

实际上，这三种形式不是分别独立存在，而是两个或三个同时存在的，如图 3-1d 所示。

提高主轴回转精度的主要措施有：提高主轴部件的制造和安装精度，使用或更换精度较高的轴承；对滚动轴承进行预紧，以调整轴承的装配间隙；按第 1 章 1. 2. 2 节检验或调节卧式车床关于主轴的相关精度等。

2. 导轨导向误差

导轨导向误差是指机床导轨副的运动件实际运动方向与理想运动方法之间的偏差值。床身导轨是确定机床各主要移动部件相对位置和相对移动的基准。它的制造精度、装配精度、安装精度和使用中的不均匀磨损是影响直线运动精度的主要因素，将直接影响工件的加工精度。但是，导轨导向误差引起的加工误差是不一样的，只有处于加工误差敏感方向的误差，才会对工件的加工精度产生较大的影响。

导轨导向误差的形式可分为直线度误差、扭曲度误差和相对位置误差三种。

（1）导轨的直线度误差　导轨的直线度误差有水平方向和垂直方向两种。图 3-2 为车床导轨直线度误差对加工精度的影响状况。

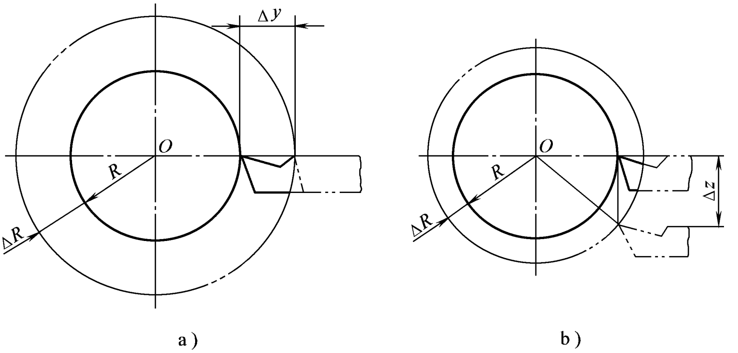


图 3-2　车床导轨直线度误差对加工精度的影响

a）水平方向　b）垂直方向

导轨在水平方向存在误差 Δy 时，如图 3-2a 所示，相当于人们走在弯弯曲曲的道路上，人体在水平面上作忽前忽后的漂移。车刀在纵向进给中，刀尖的运动轨迹相对于工件轴线不能保持平行，导致车刀的背吃刀量产生忽前忽后的变化，由于车刀处于水平位置，从而直接引起工件直径的变化。所以水平方向是误差敏感方向，因此，导轨在水平面的直线度误差 Δy，将引起工件在半径方向的误差 ΔR_y。它影响工件的素线直线度精度，如产生工件表面的圆柱度误差和轻微的竹节现象。

当导轨在垂直方向存在误差 ΔZ 时，如图 3-2b 所示，相当于人们走在凸凹

不平的道路上，人体重心在垂直面上，作忽高忽低的浮动，导致车刀相对于主轴轴线作忽高忽低的变化，同样会引起刀尖运动产生 ΔR_z 的误差，由于处于误差的不敏感方向，而产生工件半径方向的误差仅为 $\Delta R_z \approx \frac{\Delta Z^2}{2R}$，故对工件的影响很小，有时可以忽略不计。

（2）导轨的扭曲度误差　导轨的扭曲度是指前后两导轨不平行而使其上面的运动部件产生倾斜的程度，如图 3-3 所示，车床两导轨的扭曲度误差使床鞍的某一段产生横向倾斜角 α，从而使刀尖相对于工件产生偏移，其偏移量为 Δ，直接影响车削时的直径尺寸及圆柱度误差。

（3）导轨的相对位置误差　相对位置是指导轨相对于主轴在空间相互平行的程度。当车床导轨与主轴回转轴线在水平面内不平行时，由于其误差处于加工误差的敏感方向，车出的圆柱面将会出现圆柱度误差；若车床导轨与主轴回转轴线在垂直面内不平行时，将会加工出双曲线回转表面，影响工件的形状精度。

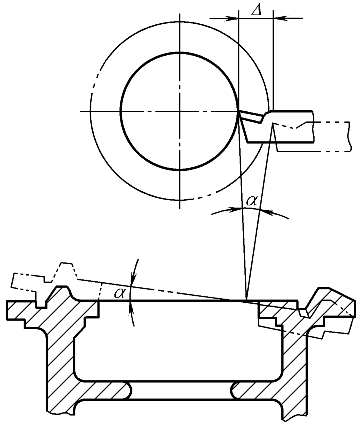


图 3-3　车床导轨扭曲的影响

保持导轨导向精度的措施，除提高导轨的制造、安装和调整精度外，还应经常维护保养，保证良好的润滑，并经常进行检查、测量，及时调整床身的安装垫铁，修刮磨损的导轨。

3. 传动链的传动误差

传动链的传动误差是指传动链中首末两端传动件之间相对运动的误差，是刀具与工件之间传动比关系的误差。它是由于传动链中各传动件，如齿轮、蜗轮、蜗杆、丝杠和螺母等的制造误差、装配误差和使用过程中的磨损等原因所致。传动误差是影响螺纹、齿轮和蜗杆等零件加工精度的主要因素。如在车削螺纹时，要求工件转一周，刀具应直线移动一个螺纹导程，传动误差会造成刀具移动的快或慢，使螺纹的导程产生加工误差。

为了减小这一误差，除了提高传动机构的制造精度和安装精度外，还应设法缩短传动路线，必要时采用误差校正装置。

3.2.4　装夹误差

工件在装夹过程中产生的误差称为装夹误差，其中包括定位误差、夹具制造误差和夹紧误差。

（1）定位误差　定位误差是指工件在装夹定位时，工件的设计基准在加工

尺寸方向上相对于夹具或机床的最大变化量。定位误差与定位方法有关，包括定位基准与设计基准或工序基准不重合引起的基准位移误差。

（2）夹具制造误差　夹具制造误差是指在制造、装配或磨损时产生的误差。

1）夹具的定位元件、刀具导向元件、对刀元件、夹具体等主要元件的制造误差。

2）夹具在装配后，各主要元件之间以及夹具的定位元件工作面与夹具在机床上的定位面之间的尺寸误差或位置误差。

3）夹具在使用过程中定位元件和导向元件的磨损引起的误差。

（3）夹紧误差　夹紧误差是指结构薄弱的工件，在装夹过程中，因夹紧力使工件变形而引起的误差。如图 3-4 所示，在用三爪自定心卡盘夹持薄壁套筒时，在夹紧力作用下产生弹性变形，套筒成三棱圆环状，如图 3-4a 所示。虽然车出的孔是正圆形，如图 3-4b，但松夹后，套筒的部分变形回复，使孔形成了三角棱圆形，产生很大的形状误差，如图 3-4c 所示。所以对于薄壁的环形零件，可采用较宽的卡爪，或在工件与卡爪间套一开口的圆形衬套，如图 3-4d 和 e 所示，以增大接触面积，使夹紧力均匀地分布在薄壁套筒的周边，从而可减少夹紧变形。

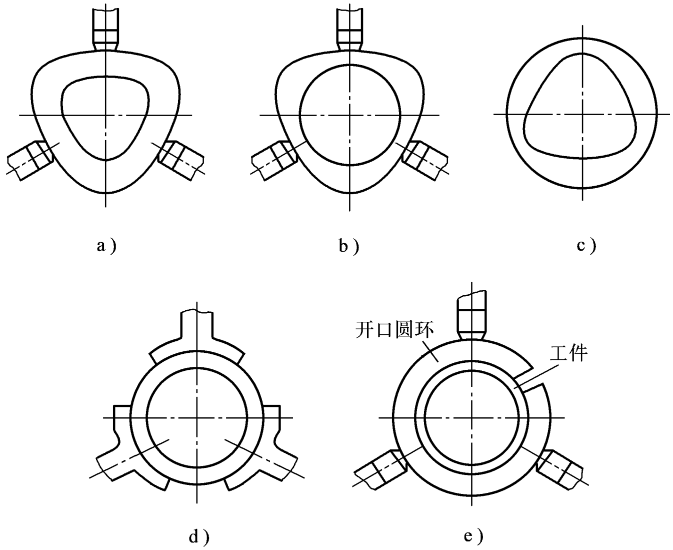


图 3-4　夹紧变形

3.2.5　刀具误差

刀具误差是指刀具的制造误差、装夹误差及磨损误差造成的加工误差。

1. 刀具的制造误差

1）钻头、铰刀、拉刀等定尺寸刀具，它们的制造误差直接反映在工件的加工尺寸上，影响被加工工件的尺寸精度。

2）采用成形车刀车削回转曲面时，被加工表面的形状，一般为刀具几何形状的复映，被加工表面的几何形状精度，直接取决于刀具廓形的形状精度。

3）在车削精度较高的曲面时，成形车刀前角对形状误差的影响很大，如在车削螺纹时，螺纹刀具的前角直接影响螺纹牙型的角度和形状精度。

4）采用成形刀具对工件进行展成加工时，刀具的切削刃形状及有关尺寸和其他技术条件，将直接影响工件的加工精度。

2. 刀具的装夹误差

在装夹刀具时，如果产生装夹误差，也将影响工件的加工精度。

1）在车削60°三角形螺纹时，螺纹车刀的刀尖角产生误差，则使螺纹的牙型角产生加工误差；刃磨正确的螺纹车刀，在安装时，如车刀刀尖角中心线与工件轴线不垂直，就会使牙型歪斜，产生半角误差，如图3-5所示。

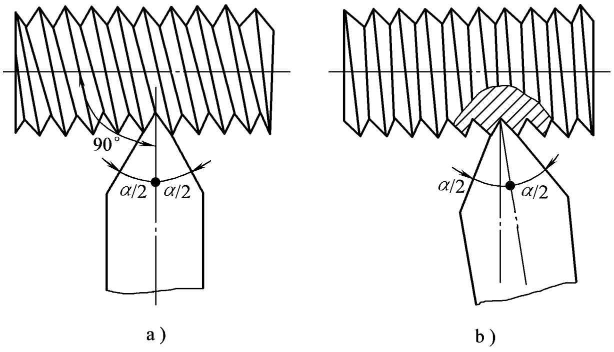


图3-5　车螺纹时对刀的要求

a）两牙型半角相等　b）半角不等使螺纹牙型歪斜

2）在某些情况下，车刀在装夹时刀尖高于或低于工件轴线，也会产生加工误差。如在车削螺纹时，螺纹车刀的刀尖应该正对工件轴线，如果偏高或偏低，牙型就会出现双曲线的廓形，如图3-6所示。在车削圆锥体工件时，也会产生类似的现象，产生形状误差。因此，在车削这类工件时，应注重刀具的正确安装。

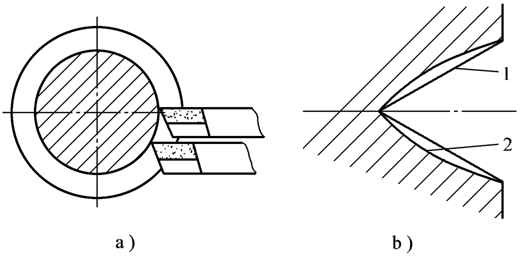


图3-6　装刀高低对加工的影响

1—正确廓型　2—装刀低于工件轴线的廓形

3）在安装铰刀等定尺寸刀具时，如对中精度差，或对中自由度受限时，会产生“正扩切”现象，即工件尺寸比铰刀尺寸大。

3. 刀具的磨损误差

在切削过程中，刀具不可避免地会产生磨损，并随着切削量的增大而增大，从而直接影响工件的加工质量。

1）在切削圆柱形内、外表面时，磨损的刀具会使工件产生锥度和尺寸误差，并使表面粗糙度值变大。

2）刀具磨损钝化后，使切削力变大，产生“让刀”现象。比如采用定尺寸刀具加工易于变形的薄壁工件时，容易产生“负扩切”现象，使工件尺寸比刀具尺寸小。

3）用成形车刀加工曲面时，刀具的磨损将直接复映在被加工表面上，产生形状误差。

3.2.6　切削受力变形引起的误差

由机床、夹具、刀具和工件在切削过程中形成一个统一的整体，称为工艺系统。工艺系统受到切削中产生的各种力的作用，都会产生不同部位和不同程度的变形。工艺系统的受力变形是切削过程中很重要的原始误差，它不仅严重地影响加工精度，还影响加工表面质量。

1. 工艺系统的刚度

工艺系统在切削力、传动力、夹紧力、惯性力以及重力等的共同作用下，使相关受力元件产生不同程度的弹性变形和塑性变形，同时在各受力元件的配合间隙处也会产生微量位移，并随着工艺系统因受力变化波动而引起的振动而扩大。这些综合因素产生的变形和位移，使刀具和工件间已经调好的正确相对位置遭到破坏，从而产生尺寸和几何形状误差和增大表面粗糙度。例如，支承在两顶尖间车削细长轴时（图 3-7），由于采用了主偏角较大的车刀车削，因而产生了较大的背向切削力 F_p，使工件产生弯曲变形而出现“让刀”现象，刀具越靠近中部，“让刀”越严重。“让刀”使背吃刀量减小，如图 3-7a 所示，导致工件直径逐渐变大。当切削力去除后，工件恢复原来的状态，使工件产生腰鼓形的圆柱度误差，如图 3-7b 所示。

使工艺系统的刀具与工件之间产生单位位移量所需的力称为工艺系统的刚度。

2. 影响工艺系统刚度的主要因素

（1）机床各部件的刚度　影响机床各部件刚度的主要因素有：

1）接触刚度的影响。接触刚度指相互接触的两表面受外力后抵抗产生接触变形的能力，它在很大程度上决定机床部件的刚度大小。若接触表面的粗糙度较

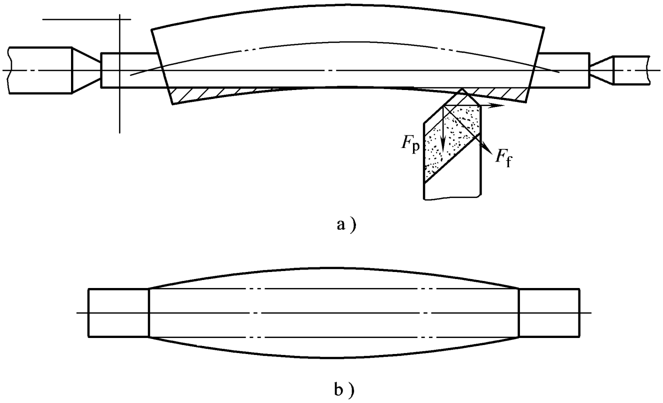


图 3-7　两顶尖夹紧车削细长轴

低，零件的实际接触面积就会远远小于理论接触面积，其接触刚度较小，受力后产生的接触变形较大。

2）部件中各组合零件接触面间的间隙影响其接触刚度，如车床床鞍与导轨间的间隙将影响刀具纵、横两个方向的进给精度，从而影响工件的加工精度和表面粗糙度。

3）部件中薄弱零件的受力变形。如车床溜板部件中的中、小滑板的镶条，其结构长而薄，刚度差，不易加工平直，在外力作用下，会因接触不良而变形，使系统的刚度降低。

4）部件各组合零件接触面间的摩擦力，在载荷变化时，对接触刚度的影响较大。加载时，摩擦力阻止变形增加；卸载时摩擦力又阻止变形恢复。由于部件变形的不均匀增减，必将反映到刀具和工件上，产生加工误差，影响工件的加工质量。

（2）工件的刚度　工件的刚度与工件结构、尺寸以及在机床上的装夹方式和支承状况有关。如在车削外圆工件时（图 3-8），当单端夹持成悬臂梁状态的工件时，其刚度很低，车削后将产生倒锥形误差，如图 3-8a 所示。当在右端用顶尖支承，采用一夹一顶的装夹方式时，可大幅度提高工件的刚度，但由于中间的刚度低于两端，车削后将产生腰鼓形误差，如图 3-8b 所示。在工件中间用中心架支承或采用跟刀架随工具的移动支承，能有效地提高细长轴的刚度，如图 3-8c、d 所示。

（3）刀具的刚度　刀具的刚度与刀具尺寸、结构、切削内容及装夹方式有关。如在车削内孔特别是深孔时，刀杆截面尺寸受工件孔径的限制，有很大的悬伸量，因此刚度很低，车削时易产生振动，影响工件的加工质量。所以在车削深

孔时，往往采用前后或中间支承，及采用浮动镗刀的切削方法，以增加深孔车刀的刚度，保证孔的尺寸精度和直线度。

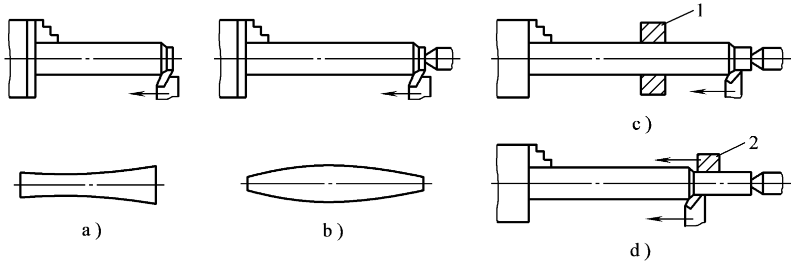


图 3-8　工件的刚度与受力变形

a）单端夹住　b）一端夹住、一端顶住　c）用中架支承　d）用跟刀架支承

1—中心架　2—跟刀架

3. 工艺系统受力变形对加工质量的影响

（1）切削力作用点位置变化的影响　工艺系统的刚度除受各组成部分刚度的影响外，还随切削力作用点位置的变化而变化。如图 3-7 等所示的情况，实际上是由切削力作用点位置的变化，使工件产生的弯曲变形，从而导致工件产生形状误差，影响工件的加工质量。

（2）切削力变化的影响　在车削加工时，加工余量不均或材料硬度不均匀，会引起切削力和工艺系统受力变形的变化，而产生“误差复映”现象。如在车削偏心量很大的毛坯孔时，在工件每转一周过程中，加工余量均发生或大或小的变化。当加工余量大时，切削力变大，刀具的“让刀”位移量也大；当车到余量小的一侧时，切削力和刀具的位移量小，如图 3-9 所示。因此，加工后的表面具有与毛坯孔相同的偏移方向，而偏心量要小得多的偏心误差。将这个误差看作待加工表面的初始误差在已加工表面上的“复映”。工艺系统的刚度越低，误差的“复映”现象越严重。

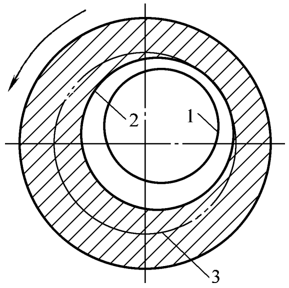


图 3-9　“误差复映”现象

1—毛坯孔　2—车出后的孔

3—正确位置的孔

（3）加工断续表面也降低加工质量　车削已铣槽或已钻孔的表面时，会产生断续切削，如图 3-10 所示。到刀具进入“空档”时，切削力及“让刀”现象消失，这时当刀具在切入工件时，产生很大的冲击，出现较大的背吃刀量，在入刀处使工件边缘产生塌角，严重影响加工质量。

（4）刀具钝化的影响　刀具磨损后，使切削刃钝化，影响加工质量。

1）切削刃磨损，使加工尺寸发生变化，影响加工精度。

2）改变了刀具的几何参数，使切削力增大，若工艺系统刚度较低，将影响工件的形状精度。

3）钝化的切削刃，在进刀时会产生“让刀”现象，使加工尺寸不稳定。

其他力，如夹紧力、传动力、重力及惯性力等，对加工质量也都有不同程度的影响。

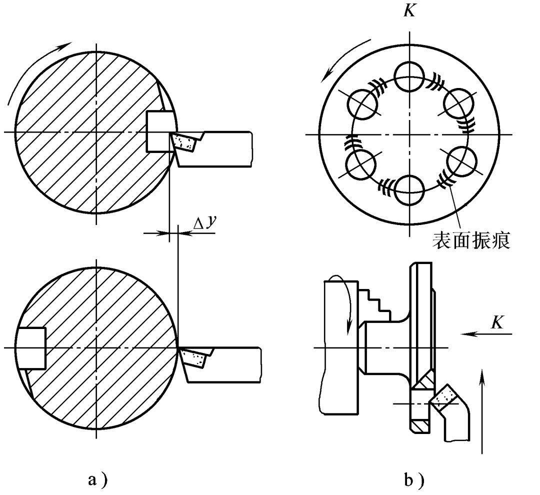


图 3-10　车削断续表面

4. 减少工艺系统受力变形误差的措施

减少工艺系统受力变形，是切削加工中保证产品质量和提高生产效率的有效途径。根据生产的实际情况，可采取以下措施：

（1）提高接触刚度　改善工艺系统主要零件接触面的配合质量是提高接触刚度的主要方法，如刮研机床导轨副、配研顶尖锥体与主轴和尾座套筒锥孔的配合面，以及研磨其他重要配合面的配合精度，从而提高各配合面的形状精度和表面质量，使接触面积增大，减少微观表面的弹性或塑性变形，有效地提高接触刚度。

（2）设法提高工件和刀具的刚度　切削力引起的加工误差，往往是由于工件或刀具本身的刚度较低引起的。可采用缩短切削力作用点，或通过辅助支承，如跟刀架、中心架或支承套等方式，减少工件或刀具的悬伸长度，以提高它们的刚度，减小变形形成的振动。

（3）减小切削力　合理选择刀具的几何参数和切削用量，以及保持锋利的切削刃，可减小切削力，特别是减小变形方向的切削力尤为重要。如在车削细长工件时，采用较大的主偏角，可减小背向切削力对工件的作用，以减小工件的弯曲变形。

（4）工件一般应分粗加工、半精加工和精加工　特别对壁薄或细长工件，在精车时，应以较小的背吃刀量和进给量，在较小的切削力状态下，修正粗加工或半精加工中产生的各种误差，以减少受力变形。

（5）合理安排工序，避免断续切削　如图 3-10 所示的工件，可采用先车削外径或平面，后铣键槽或钻孔的加工工序。

（6）合理装夹工件，减少夹紧变形　在工件装夹时，应使作用力通过支承面，力求减小弯曲力矩，工件的安装形式也应满足在切削时的刚度要求。

3.2.7　工艺系统受热变形引起的误差

在切削加工过程中，切削热、摩擦热、辐射热、环境温度以及机床传动系统产生的热量，使工艺系统各部产生不均匀的温升，从而产生复杂的变形。这种热变形，使工艺系统各组成部分相互位置发生改变，破坏了工件与刀具的相对位置和运动的准确性，产生加工误差。

1. 工艺系统受热变形对加工质量的影响

（1）工件受热变形　在切削过程中，工件的热变形主要是由切削热引起的，有些精密零件、大型零件的热变形还受到环境温度的影响。工件的受热可分为以下两种情况：

1）比较均匀的受热。如一般轴类工件的加工，工件是均匀受热，在切削过程中，切削热使工件温度逐渐升高，直径也因膨胀而逐渐增大，使刀具的实际背吃刀量也逐渐增大，待工件冷却后就会出现圆柱度误差。如果工件直径的精度要求较高，则会因冷却收缩而变小，甚至超差报废。

尤其是在两顶尖间加工细长轴时，热变形引起的线膨胀将使工件伸长，如果顶尖间的距离保持不变，则工件受两顶尖的压力会产生弯曲变形，这不仅会使工件产生圆柱度误差，严重时还有被甩出的危险。

【实例 3-1】　计算工件温升时的伸长量实例

车削直径 $d=40\text{mm}$，长度 $L=1500\text{mm}$，材料为 45 钢的机床光杠，已知室温为 $t_0=20℃$，车削时因受切削热的影响，使工件温度升至 $t_1=60℃$，求工件的伸长量 ΔL。

解： 查表得：45 钢线胀系数 $\alpha_1=11.95\times10^{-6}/℃$

根据计算式 $\Delta L=\alpha_l L(t_1-t_0)$

$=11.95\times10^{-6}/℃\times15000\times(60-20)$

$=0.6954\text{mm}$

2）不均匀的受热。根据工件形状的结构特点，使工件各部受热不均匀。如图 3-11 中的工件，在切削时，*B* 侧未参与切削，切削力只作用在 *A* 侧，并产生切削热使其升温，所以 *A* 侧比 *B* 侧的温度高，当工件冷却后，则因收缩使 *A* 侧

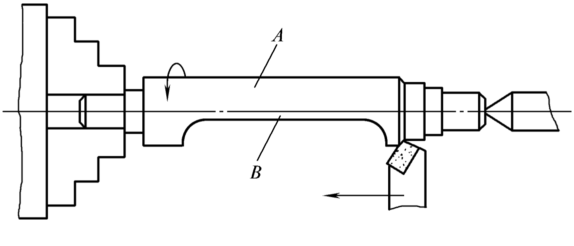


图 3-11　不均匀的热变形

产生反拱形误差。

（2）刀具受热变形　刀具的热变形主要是由于切削热引起的。虽然只有部分切削热传散到刀具，但由于刀具体积小，热容量也小，所以刀具切削部分通常会达到很高的温度和较大的热伸长量，如用高速钢刀具进行车削时，其刃部温度可达700℃左右，刀具的热伸长量可达0.03～0.05mm，对加工精度有一定的影响。这种影响在切削初期比较明显，但达到热平衡状态后，刀具的热变形趋于稳定，其影响相对较小。因此，在成批生产连续作业时，应特别注意开始切削时加工尺寸的变化。

（3）机床受热变形　在切削过程中，机床受内外热源的影响，各部分的温度将逐渐升高，但由于机床结构的不对称或不均匀受热，使其产生不均匀、不对称的热变形。例如车床，因主轴箱中的轴承、齿轮摩擦生热，工作一段时间后，由于主轴前端受力较大，使主轴箱前端的温升高于后端，使其在垂直面和水平面内发生偏移或倾斜；主轴箱的热量传递给床身，使床身上部温升高于底部，使导轨向上拱起，更加剧了主轴的倾斜，如图3-12所示。

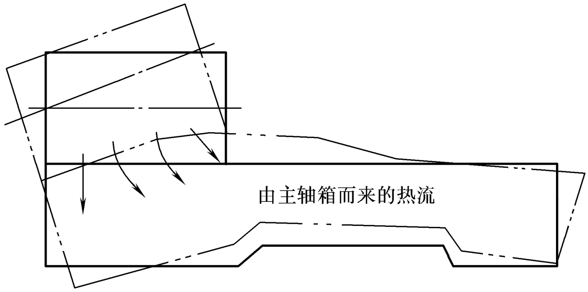


图3-12　机床热变形的趋势

机床各部不均匀的热变形，不仅破坏了机床的几何精度，还使各种移动的位置和传动比关系发生变化，从而降低了机床的加工精度，产生加工误差。只有达到热平衡状态，才能稳定加工精度。但是，由于机床体积和热容量较大，这个过程需要很长时间，因此，在短时间内控制加工尺寸是很困难的。

2. 减少工艺系统受热变形的主要措施

在切削过程中，工艺系统各种热源产生大量的热，传散到各构件引起温度逐渐升高，同时它们也向周围介质散热。但单位时间内传入和散发的热量相等时，即可认为工艺系统达到热平衡状态。在热平衡状态下，工艺系统各部分的温度保持不变，形成稳定的温度场，其受热变形也相应地趋于稳定，引起的加工误差也比较稳定。

设法尽快使工艺系统达到热平衡状态，是减少工艺系统受热变形的主要途径。其主要措施有：

1）通过正确选择刀具几何角度和合理的切削用量，以减少切削热的产生。

2）采用大流量冷却液等冷却方式，加强散热能力，使切削热能及时散发出去。

3）在必要时应对机床进行预热。在冬季或寒冷地区应空运转一段时间，或设置热源，人为地给机床预热，促使机床达到热平衡状态时，再开始工作。

4）控制环境温度。精密加工应在恒温室中进行，减小环境温度变化对工艺系统的影响。

5）探索温度变化与加工误差之间的规律，在测量时实行预修正。比如当工件直径在某一工作温度下，因冷却收缩了某一数值时，则在最终控制尺寸时增大相应的收缩量（但应以工作温度不变为前提）。

3.2.8　内应力的影响

内应力是指在没有外力作用下或去除外力后，在工件内部仍存留的应力，也称残余应力。具有残余应力的毛坯或工件，内部组织极不稳定，有恢复到无应力状态的倾向，在常态环境里，会缓慢地产生变形，使应力逐渐消失。如果在外界某种因素的影响下，如环境温度的改变、受到振动或撞击，或后续的切削加工时，将会迅速打破原有的平衡格局，向新的平衡状态转化，使工件的内应力重新分布而变形，从而丧失原有的精度。

1. 内应力的产生

内应力是在热加工过程中，在金属内部宏观或微观组织不均匀的体积变化，以及切削加工中受到切削力、切削热等外因的作用产生的。归纳为以下几个方面：

（1）毛坯制造中的应力　在铸造、锻造及焊接过程中，由于工件壁厚不均匀，使材料在加热和冷却过程中，先后收缩不一致，导致金相组织转变时的体积变化不均匀，使毛坯件内部产生内应力。具有内应力的毛坯，在切去一些金属层后，原有的平衡状态被破坏，内应力重新分布，使工件产生明显变形。

（2）热处理应力　热处理时，由于工件各部的结构特性、散热条件的差异，引起冷却速度和收缩量的不同，则在工件内部产生残余应力。同时，在热处理过程中，当固态组织发生转变时，会因各组织的密度不同而产生热处理应力。比如，工件在淬火和回火时，进行奥氏体→马氏体→屈氏体的转变，因为马氏体的密度小于奥氏体及屈氏体，所以在转变过程中，使得工件局部体积产生不规则的

膨胀或缩小，体积膨胀部分会产生压应力，体积缩小部分或产生拉应力。再加上工件表面与心部转变的不均匀，所以产生很大的热处理应力，过大的热处理应力会使工件产生裂纹或断裂。

（3）切削加工中的应力　切削加工时，由于工件表面层金属受到切削力、摩擦力和切削热等不同程度的作用，使工件表层组织产生不同程度的塑性变形，但由于受到里层组织的阻碍，使表层产生压应力，里层则产生与之平衡的拉应力。

（4）冷校直应力　在加工细长工件或精密工件时，如果用冷校直的方法校直弯曲的毛坯或工件，虽然表面看减小了弯曲，却使得材料产生冷校直应力，使内部处于不稳定的应力状态，在后续加工时又会产生新的弯曲变形。所以对细长工件，一般不允许采用冷校直工艺。

2. 减小或消除内应力的措施

（1）安排消除内应力的工序　如对铸、锻、焊接件等进行退火或回火处理，对精密工件在粗加工后进行时效处理，淬火后的工件进行低温回火处理等。常用的时效处理方法有：

1）自然时效。将毛坯放置在露天，利用气温或气压的自然变化，经过多次热胀冷缩，使材料内部不平衡的金相组织产生微观滑移而趋于平衡，达到消除或减小内应力的效果，是经济实用的方法。但由于时效周期较长，只在较长的生产周期内采用。

2）人工时效。人工时效时将毛坯或工件放置在加热炉内加热到一定温度并保温一段时间，使材料内部金属原子的热运动加剧，并逐渐回复到晶体点阵结构的平衡位置，再随炉冷却，以消除残余应力。人工时效分高温时效和低温时效，高温时效适用于铸、锻、焊接等毛坯件及粗加工后的半成品件，低温时效适用于半精加工后的工件。

3）振动时效。振动时效是用激振器或振动台使工件以 50Hz 的频率通过振动来消除残余应力。由于振动时效方便简单，没有氧化层，一般用于最后精加工前的时效工序。一些小零件也可以装在滚筒里，滚筒在旋转时通过工件的相互撞击而产生振动，也能收到消除内应力的效果。

4）合理安排工艺过程。在加工大型工件或精密工件时，应把粗、精加工分开在不同的工序中进行，使粗加工后有一定的时间让残余应力重新分布，以减少对精加工的影响。

5）采用热校直。精密或细长工件的毛坯，如存在较大的弯曲，应加大毛坯余量和工序余量，逐次切去弯曲部分。如必须进行校直时，应采用热校直，或在冷校直后采用高温时效的方法去除应力。

3.3　表面质量

机械零件的加工质量除了加工精度外，还有表面质量，它是零件加工后表面层状态完整性的表征。表面质量包括表面粗糙度和表面层物理力学性能，表面层物理力学性能又包含表面层加工硬化和表面层残余应力现象。

3.3.1　影响工件表面质量的主要因素

1. 表面粗糙度

表面粗糙度是指加工表面上具有较小间距和谷峰组成的微观几何形状特征。影响工件加工表面粗糙度的工艺因素有：

（1）几何因素　从工件表面的微观几何形状分析，切削刃与工件相对运动的轨迹即切削刃几何形状在工件表面上的复映，从而形成表面粗糙度。由于已加工表面是由刀具的主、副切削刃切削加工后形成的，两条切削刃相对工件作进给运动时，在已加工表面上遗留下的痕迹，所形成的螺旋面积，即残留面积，如图 3-13 所示。残留面积与进给量 f、背吃刀量 a_p、刀具的主偏角 κ_r、副偏角 κ_r' 和刀

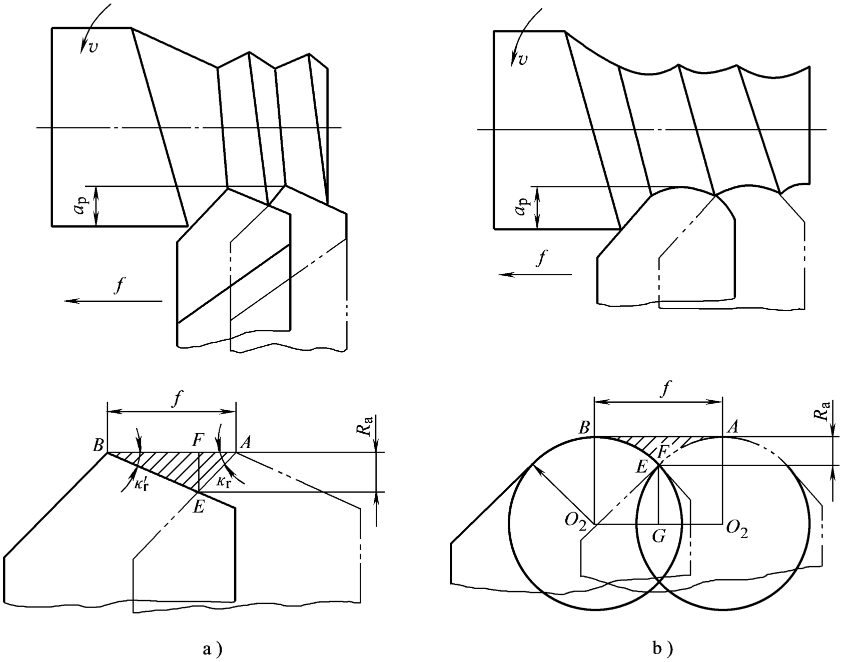


图 3-13　车刀进给时产生的残留面积

a）尖头刀　b）圆头刀

尖圆弧半径以及切削刃本身的表面粗糙度有关。从几何因素考虑，残留面积高度的轮廓算术平均偏差（R_a），即为表面粗糙度值。残留面积越大，其高度越高，表面粗糙度值就越大。

（2）物理因素　物理因素即与被加工材料性质及切削机理有关的因素。

1）在切削过程中，刀具刃口磨损产生的钝角及后刀面对工件表面产生挤压和摩擦，使加工表面的金属层发生塑性变形，引起残留面积扭曲，从而造成表面粗糙度值增大。

2）在车削脆性材料时产生崩碎切屑，使已加工表面出现凸凹不平的断裂穴或崩碎痕迹，留下许多麻点，增大了表面粗糙度值。

3）切削过程中产生的积屑瘤既不规则又不稳定，一方面其不规则的硬点部分地代替切削刃切削，留下深浅不一的痕迹，另一方面一部分脱落的积屑瘤嵌入已加工表面，形成不规则的毛刺或硬点，使表面粗糙度值增大。

4）用低速切削时，容易产生鳞刺，即在已加工表面上形成与切削速度近似垂直的横向裂纹，并有鳞片状的毛刺出现，使表面粗糙度值增大 2 ~4 级。

（3）机械加工振动　在切削过程中，受切削力的影响，刀具和工件常发生强烈的振动，产生明显的表面振痕，使工件表面粗糙度值增大，严重时还会产生崩刃现象，使表面质量严重恶化。

2. 表面层物理力学性能

（1）表面层加工硬化　表面层加工硬化是指工件经加工后，其表层的强度和硬度高于母体产生冷硬层的现象，也称为表面层的冷硬或强化，它是在一定条件下，切削温度使材料软化，更高的温度将引起相变。所以说，加工硬化就是这种软化、相变和硬化综合过程的结果。表面层加工硬化的程度是由产生塑性变形的力、变形速度及变形时的温度决定的。影响加工硬化的主要因素有：

1）刀具几何参数。刀具前角为负值、后角偏小、刃口圆弧半径或刃口磨损时，刀具对工件已加工表面的挤压和摩擦加剧，促使硬化程度和硬化层深度增加。

2）切削用量。增大进给量，切削力、切削热和塑性变形同步增大，使硬化程度和硬化层深度增加；但进给量太小时，切削刃反复挤压已加工表面，也会使加工硬化程度增加。

增大切削速度，缩短了刀具与工件的接触时间，使塑性变形减小，而切削温度的升高，则有助于冷硬的回复。所以，在一般情况下，切削速度增大，硬化程度减小。

3）工件材料。材料塑性越大，切削时产生的塑性变形也越大，硬化程度和硬化层深度也越严重。

（2）表面层残余应力　表面层残余应力是指切削加工后，工件表层残留的压应力或拉应力。切削过程中，在切削力、切削热以及塑性变形的综合作用下，工件的表层金属组织会发生形状、体积或金相组织的变化，从而在金属的表面层与基体间产生相互平衡的残余应力。产生表面层残余应力的主要原因是：

1）冷态塑性变形。在切削力的作用下，表层金属产生的塑性变形，表面沿着切削速度方向产生拉伸变形，金属晶格被拉长，而基体金属却处于弹性变形状态。当切削力消除后，基体金属趋于回复，但受到表层金属的阻碍，因而在表层产生残余压应力，在里层产生残余拉应力。

2）热态塑性变形。在切削热作用下，使工件表面局部温升过高，而基体温度相对较低，从而使工件表面的热膨胀受到阻碍，在表层产生很大的热压应力。当切削过程结束时，表面温度下降，其冷却收缩又受到基体的限制，使表层产生拉应力。切削温度越高，热变形越大，残余拉应力也越大，有时甚至在工件表面产生裂纹。

3）金相组织变化。切削热产生的高温会引起表面层金相组织变化。由于不同的金相组织有不同的密度，表面层金相组织的变化将造成体积的变化。表面层体积膨胀或缩小时，因为受到基体的限制，将分别产生压应力或拉应力。

3.3.2　表面质量对零件使用性能的影响

加工后的工件表面，虽然有时看起来很光亮，但从微观看，总存在许多高低不平的峰谷或其他缺陷，它们不仅影响工件的工作性能，而且使工件加速磨损、腐蚀或失效。其主要影响有如下几个方面：

1. 对零件配合精度的影响

表面粗糙度将影响零件的实际配合性质和配合精度。

如果零件的配合表面粗糙，在间隙配合中，表面顶峰处产生很大的剪切压力，在相对运动时，很容易被切断，使实际配合间隙增大，从而降低了配合精度；在过盈配合中，装配时表面上的凸峰即被剪切挤平，使实际过盈量减少，降低了过盈配合的强度，影响零件的使用寿命。因此，为了提高配合的可靠性和稳定性，对有配合要求的表面都必须规定较小的粗糙度值。

表面残余应力会使零件产生变形或出现裂纹，引起零件形状或尺寸的变化，对配合精度也有一定的影响。

2. 对零件耐磨性的影响

零件的耐磨性主要与零件本身的材质、热处理状况和润滑条件有关。这些条件确定后，在一定程度上还取决于零件的表面质量。

由于加工后的零件表面存在着凸峰低谷，所以，相互配合的表面上只是在一些凸峰顶部接触，实际接触面积远小于理论接触面积。因此，当零件受到力的作用时，接触部分的实际压强很大。当它们作相对运动时，在接触处就会产生弹性变形、塑性变形和剪切断裂现象，造成峰顶之间相互挤裂、破碎，产生很大的磨损量，并逐渐失去原有的尺寸和形状精度。

零件表面的加工痕迹方向对耐磨性能也有显著影响。在轻载并充分润滑的条件下，两配合加工痕迹方向相同时，它们的磨损量较小，如曲轴轴径与轴瓦加工痕迹方向相同，在充分润滑的条件下工作时，耐磨性能较好。而在重载又无充分润滑的条件下，两配合表面加工痕迹方法垂直时，磨损量较小，如机床导轨与床鞍是在边界摩擦条件下工作，它们的加工痕迹以相互垂直为好。所以，对于相互配合的重要零件，应规定最后工序的加工痕迹方向。

3. 对疲劳强度的影响

零件表面微观不平的凹谷、划痕、裂纹等缺陷，在交变荷载作用下，容易形成应力集中现象，产生和加剧疲劳裂纹，造成零件的疲劳损坏。

零件表面的冷硬层能阻碍裂纹的出现或扩大，提高零件的疲劳强度。但冷硬层过深或过硬，则容易产生细小的裂纹及剥落，反而会降低疲劳强度，所以冷硬程度和冷硬层深度应适当。

表面层的残余拉应力，与工作荷载产生的拉应力叠加后并大于材料的强度时，零件表面会产生疲劳裂纹而降低疲劳强度。而零件表面层的残余压应力可抵消工作荷载施加的拉应力，延缓疲劳裂纹的扩展，提高零件的疲劳强度。所以，在交变荷载下工作的零件，其表面一般需要具有很高的残余压应力。

4. 对表面腐蚀性的影响

表面粗糙度值大的零件表面，与腐蚀介质的接触面积较大，吸附在表面上的腐蚀性气体或液体也越多，容易引起化学腐蚀。同时，凹谷中容易积留腐蚀介质，在峰谷间产生电化学作用而引起电化学腐蚀，凹谷越深，腐蚀越严重。

零件表面的残余应力在工作应力状态下，会产生应力腐蚀，若有裂纹，更增加了应力腐蚀的敏感性，所以都会降低零件的抗腐蚀性能。

3.3.3 提高零件表面质量的措施

1. 设法减小切削的理论残留面积高度

1）减小刀具的副偏角，精加工时可采用其长度大于进给量的修光刃。

2）适当增大刀尖圆弧半径。

3）适当增大刀具前角和刃倾角，以降低金属层的变形程度，减轻工艺系统的振动。

4）认真研磨刀具，降低切削刃处各面的表面粗糙度值。

5）在半精车、精车时选取较小的进给量。

2. 避免物理因素对表面质量的影响

1）在切削塑性材料时，应避开中速切削，采用高速切削，以避免产生积屑瘤和鳞刺对表面质量的影响。

2）采用正值的刃倾角，使切屑流向待加工表面，或采用断屑或有序排屑措施，避免划伤已加工表面。

3）经常保持刃口的锋利，随对磨损的刀具应及时刃磨。

4）合理采用切削液。切削液的冷却作用使切削温度降低，润滑作用使刀具和被加工表面间的摩擦状况得到改善，从而减少了切削过程的塑性变形，降低表面粗糙度值。

3. 减少或消除切削振动

1）调整机床主轴和溜板镶条间隙，提高机床各运动系统的刚度，使切削移动平稳轻便。

2）合理选择刀具的几何参数，适当加大刀具前角，刀具易于切入工件，可减小切削力，有利于减小振动。

3）增加刀具和工件的装夹刚性，不宜有较长的悬伸量。

4. 改善表面层物理力学性能的措施

（1）抑制加工硬化措施

1）对塑性较大的材料进行适当的热处理，以提高硬度、减小塑性，从而降低加工硬化程度。

2）适当增大切削速度和减小进给量，可抑制表面层加工硬化。

（2）控制表面层残余应力的方法　为了长期保持精密零件的精度，避免表面层残余应力使工件变形，应尽可能消除或减小表面层残余应力。经常采用的方法有：

1）采用精细车、精细磨以及研磨、珩磨、超精加工等方法作为工件的最终加工工序。由于它们的加工余量小，切削力、切削热极小，因此，不仅不能产生新的表面层残余应力，又可去除前工序造成的表面变质层和表面残余应力。

2）采用滚压加工的方法。即用淬硬的滚轮或滚珠，对零件表面进行滚压，使材料表层产生塑性流动，将零件表面上原有的凸峰填充到相邻的凹谷中，形成新的光洁表面。并使金属表面晶格产生畸变、冷硬层和残余压应力，从而提高零件的交变承载能力和疲劳强度。

3）喷丸强度。它是用压缩空气或离心力将大量直径细小的钢丸粒或玻璃丸粒以35～50m/s的速度向零件表面喷射，喷丸使零件表面层产生很大的塑性变形，形成表面的冷作硬化及残余压应力，可用于任何形状复杂的零件。

3.4 机械加工工艺规程

规定产品或零、部件的加工工艺过程和操作方法的工艺文件统称为工艺规程，其中有关机械加工工艺过程的工艺文件称为机械加工工艺规程，简称工艺规程。它是在机械加工过程的具体生产条件下，将合理的加工工艺过程和操作方法，制定成工艺文件，以指导现场生产。

3.4.1 工艺规程的作用

工艺规程一般包括：工件材料的牌号和毛坯类型、机械加工工艺路线、各工序的加工内容、切削用量和工时定额，以及需用的加工设备和工艺装备等。对精度要求高的关键零件的重要工序，还会对工序余量、工序基本尺寸和极限偏差作出具体规定。

工艺规程的主要作用是：

1）工艺规程是指导生产的主要技术文件，是指挥现场生产的依据。工艺规程是根据工艺学原理和工艺实践确定的，所以，按照工艺规程进行生产可以保证产品质量、提高生产效率和实现良好的经济效益。工艺规程的简繁应根据具体情况而定。在大批量生产的车间，由于生产组织严密、分工细致，工艺规程应比较详细；对于单件或小批量生产的车间，工艺规程可以适当简单些。

工艺规程也是处理生产问题的依据，如产品质量问题，可按工艺规程明确各加工单位的责任。

2）工艺规程是组织生产和进行计划调度的基本依据。根据工艺规程，可进行生产前的技术准备工作，如机床和专用工艺装备的配置、原材料和毛坯的供应、合理编排作业计划和配备生产人员以及制定工时定额和进行成本核算等。

工厂的调度部门应根据工艺规程，安排各零件的投料时间和数量，调节设备和人力资源，使各职能部门紧密配合，进行科学的衔接，保证均衡有序地完成生产计划。

3）工艺规程是新建或扩建工厂或车间的基本资料。在扩大生产时，需依据工艺规程才能确定机构设置、机床设备的种类、规格和数量及布局、厂房面积、人员和工种配置及技术等级以及各种管理制度等等。

3.4.2　工艺规程的编制原则

工艺规程应在保证产品质量的前提下，最大限度地提高生产效率和降低生产成本，以保证良好的经济效益。因此，在具体编制工艺规程时，应遵循以下原则：

1）重点把握各零件之间的配合关系和移动关系，了解各零件在部装或总装中的位置和功能，以及在装配时对它提出的技术要求，分析主要的制造关键和应采取的工艺措施，形成工艺规程编制的总体构思。

2）工艺规程应在现场的实践经验和国内外先进工艺和装备相结合的基础上，充分利用现有的生产条件，依照科学发展观编制，具有工艺上的合理性、技术上的先进性和成本上的经济性等特点。

3）工艺规程首先要保证零件的加工质量，并应具有较高的生产效率。

4）在编制工艺规程时，应对多个方案的生产成本进行核算和比较，选择经济上最节省的方案，使生产成本最低。

5）结合现场的实际工作条件，如现有的设备状况、工人的技术水平状况以及生产负荷的平衡状态，选择各零件的加工方法和加工顺序，确定工序的集中与分散程度，编制实用和均衡的工艺规程。

6）工艺的定位基准对保证零件的加工精度，以及各零件间的形位精度和装配精度至关重要，保证工件的定位准确、夹紧可靠、夹具结构简单、操作快捷方便。

7）合理安排工序顺序，一般可将工艺过程分为粗加工、半精加工和精加工三个加工程序，特殊需要的，还应进行光整加工。工序安排的一般原则是：先粗后精；先加工主要表面，后加工次要表面；先加工平面，后加工内孔；先加工精基准面，后加工其他表面。

热处理工艺的安排应根据具体情况而定。退火或正火可细化晶粒、均匀组织、消除内应力和改善切削性能，所以常安排在粗加工之前进行。调质是在淬硬后进行高温回火，可获得均匀细致的回火索氏体组织，改变材料的综合力学性能，一般安排在粗加工后进行。淬火处理可提高工件表面的硬度和耐磨性，应安排在磨削精加工前进行。

8）工艺规程应保证良好的劳动条件，尽量采用机械化或自动化，以减轻工人的劳动强度，保证安全生产。

9）工艺规程应重视对环境的保护，避免废水、废气等有害物质对环境的污染。

3.4.3　编制工艺规程的步骤

编制工艺规程的步骤大致如下：

1）阅读产品装配图及零件图，了解产品的用途、性能和工作条件，熟悉零件在产品中的位置和作用。对有关零件的结构进行工艺性分析，包括使用性和制造的可行性，找出零件制造的关键技术和操作难点，确定解决方法。

2）确定毛坯类型及加工方法，必要时绘制毛坯图。

3）拟定工艺路线。

4）确定各工序的加工余量、工序尺寸及制造公差。

5）确定各工序所用的设备及刀具、夹具、量具和辅助工具，对需要设计或改装的专用装备提出设计和制造的任务书。

6）选择切削用量和计算工时定额。

7）确定各主要工序的技术要求和检验方法。

8）进行技术经济分析，选择最佳方案。

9）编制工艺文件。

3.4.4 工艺文件

常用的工艺文件的格式有下列几种：

（1）机械加工过程卡片　它以工序为单位，简要地列出整个零件的加工过程，如毛坯制造、机械加工和热处理等。它是制定其他工艺文件的基础，也是生产技术准备、编排作业计划和组织生产的依据。在这种卡片中，由于各工序的说明不够具体，故一般不直接指导工人操作，而多作为生产管理方面使用。但在试制、小批或单件生产中，通常不编制其他较详细的工艺文件，就以这种卡片指导生产。

（2）机械加工工艺卡片　它是以工序为单位，但较详细地说明整个零件的全部加工过程，包括零件材料、工序号、工序名称、工序内容、工艺参数、操作要求以及采用的设备和工艺装备等。它是用来指导工人进行生产和帮助管理人员和技术人员掌握整个零件加工过程的重要技术文件，广泛用于成批生产零件和重要零件的小批生产中。

（3）机械加工工序卡片　机械加工工序卡片是在过程卡或工艺卡的基础上，为一道工序制定的工艺文件。它以工步为单位，更详细地说明整个零件每个工序的加工要求，在工序卡上画出工序简图，说明该工序每一工步的加工内容、工艺参数、操作要求以及所用的设备和工艺装备等。工序卡是用来具体指导工人操作的，一般用于大批量生产的零件。在批量生产中，只是主要零件或一般零件的关键工序才有。

目前，各企业所用的机械加工工艺规程的具体格式还没有统一，现在常用的机械加工工艺卡片如表 3-1 所示。

表 3-1　机械加工工艺卡片

<table>
<tr><td rowspan="2" colspan="3">××××厂</td><td rowspan="2" colspan="3">机械加工工艺卡片</td><td colspan="2">产品名称</td><td colspan="2"></td><td>零件图号</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="2">零件名称</td><td colspan="2"></td><td>共　页</td><td colspan="2">第　页</td></tr>
<tr><td>材料</td><td></td><td>毛坯种类</td><td></td><td>毛坯尺寸</td><td></td><td colspan="2">每毛坯可制件数</td><td></td><td></td><td>每台件数</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>工序</td><td>工种</td><td>工步</td><td colspan="6">工步内容</td><td>设备</td><td>夹具</td><td>刃具</td><td>量具</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td colspan="6"></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>批准</td><td>审批</td><td>校对</td><td>拟订</td><td colspan="3">会签</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td rowspan="2"></td><td rowspan="2"></td><td rowspan="2"></td><td rowspan="2"></td><td rowspan="2"></td><td rowspan="2"></td><td rowspan="2"></td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>标记</td><td>处数</td><td>更改文件号</td><td>更改者</td><td>日期</td></tr>
</table>

3.5　尺寸公差与配合的应用

尺寸公差与配合的各项规定，是国家标准之一，是保证加工质量的重要文件，也是机械加工参与者必须掌握的基本知识。为加深对尺寸公差和配合的认识，将与实践有直接关系的基本知识作简要介绍，以便于正确的理解和应用。

尺寸公差与配合的示意图如图 3-14 所示。

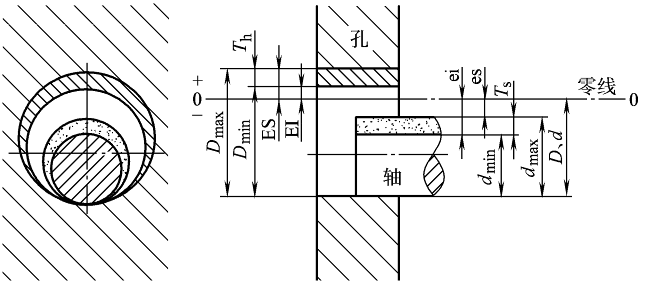


图 3-14　尺寸公差与配合的示意图

3.5.1　常用术语和定义

根据 GB/T1800. 1—1997 规定，有关尺寸公差与配合的常用术语和定义

为：

1. 有关形体方面的术语和定义

（1）孔　主要指圆柱形的内表面，如支承孔、固定孔等，也包括其他内表面中由单一尺寸确定的部分，如矩形孔、槽宽等。

（2）轴　主要指圆柱形的外表面，如轴、销等，也包括其他外表面中由单一尺寸确定的部分，如键宽、键厚等。

2. 有关尺寸方面的术语和定义

（1）尺寸　用特定单位（如 mm）表示长度值的数字。

（2）基本尺寸　设计时给定的名义尺寸称为基本尺寸，它确定零件各部分尺寸的大小。

孔的基本尺寸用大写的“D”表示；轴的基本尺寸用小写的“d”表示。

（3）实际尺寸　零件加工后测量获得的某一孔或轴的尺寸。

（4）极限尺寸　允许基本尺寸变化的两个界限值，统称为极限尺寸。其中较大的一个称为最大极限尺寸，较小的一个称为最小极限尺寸，它们都是以基本尺寸为基数确定的。

1）最大极限尺寸：孔用“D_{max}”表示，轴用“d_{max}”表示。

2）最小极限尺寸：孔用“D_{min}”表示，轴用“d_{min}”表示。

3. 有关偏差和公差方面的术语和定义

（1）尺寸偏差　某一极限尺寸或实际尺寸与基本尺寸的代数差称为尺寸偏差，简称偏差。尺寸偏差又有极限偏差和实际偏差之分。

1）极限偏差。极限尺寸与基本尺寸的代数差为极限偏差，并分为上偏差和下偏差。

①上偏差为最大极限尺寸与基本尺寸的代数差。孔的上偏差用大写的“ES”表示，轴的上偏差用小写的“es”表示。即上偏差可分别表示为

孔：$$\mathrm{ES} = D_{max} - D \tag{3-1}$$

轴：$$\mathrm{es} = d_{max} - d \tag{3-2}$$

②下偏差为最小极限尺寸与基本尺寸的代数差。孔的下偏差用大写的“EI”表示，轴的下偏差用小写的“ei”表示。即下偏差可分别表示为

孔：$$\mathrm{EI} = D_{min} - D \tag{3-3}$$

轴：$$\mathrm{ei} = d_{min} - d \tag{3-4}$$

2）实际偏差。实际尺寸与基本尺寸的代数差。它是检测零件加工后的实际偏差状况，实际偏差在极限偏差范围内视为尺寸精度合格。

由于极限尺寸或实际尺寸可能大于、小于或等于基本尺寸，所以极限偏差或实际偏差可以为正值、负值或等于零。

（2）尺寸公差　允许尺寸的变动量称为尺寸公差，简称公差。即最大极限

尺寸与最小极限尺寸代数差的绝对值，或上偏差与下偏差代数差的绝对值。

孔的公差用“Th”表示，轴的公差用“Ts”表示，则公差可分别表示为

孔：　$$Th = | D_{max} - D_{min} | = | ES - EI | \tag{3-5}$$

轴：　$$Ts = | d_{max} - d_{min} | = | es - ei | \tag{3-6}$$

所以，尺寸公差是没有符号的绝对值。

（3）公差与配合图解　为形象地反映尺寸公差的位置，只将公差部分用放大比例画出，而不画出完整的零件图形的表达方式，称为公差与配合图解。

1）零线。在尺寸公差与配合的图解中，用来确定偏差位置的一条基准直线称为零偏差线，简称零线。通常零线用来表示基本尺寸，当零线沿水平方向绘制时，由零线向上，偏差值为正；由零线向下，偏差值为负。

2）公差带。在公差与配合的图解中，由代表上偏差与下偏差或最大极限尺寸与最小极限尺寸的两条直线所限定的一个区域，称为公差带。

公差带由公差宽度和它们相对于零线的位置确定。

极限与配合图解，如图 3-15 所示。

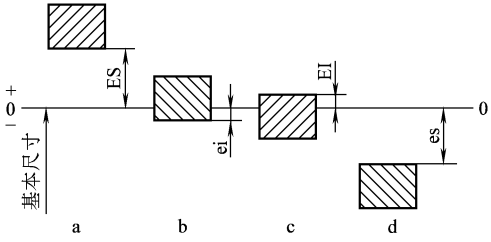


图 3-15　极限与配合图解

3.5.2　标准公差

标准公差是国家标准规定的，用以确定公差带宽度的任一公差，用“国际公差”符号“IT”表示。

（1）标准公差等级　确定尺寸精确程度的等级，称为标准公差等级，用阿拉伯数字表示。根据规定，标准公差分 20 级，即 IT01、IT0、IT1、…、IT17、IT18。IT01 等级最高，以下依次降低。当其与代表基本偏差的字母一起组成公差带时，则省略“IT”字母，如 F7、h6 等。

（2）标准公差数值　标准公差数值见表 3-2。

标准公差数值确定了各基本尺寸段各标准公差等级相对应的公差带宽度，虽然属于同一公差等级的标准公差，各基本尺寸段所对应的数值不同，即各段公差带的宽度随着基本尺寸的增大而加宽，但仍被认为它们具有同等的精确程度。

未注公差尺寸的公差等级规定为 IT12 ~ IT18，长度规定为$\frac{1}{2}$IT。必要时，可不分孔、轴，均采用 $\pm\frac{1}{2}$IT（即 JS 或 js）。

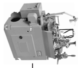


表 3-2　标准公差数值表

基本尺寸/mm		公差等级																			
		IT01	IT0	IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16	IT17	IT18
大于	至	μm													mm						
—	3	0. 3	0. 5	0. 8	1. 2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	0. 10	0. 14	0. 25	0. 40	0. 60	1	1. 4
3	6	0. 4	0. 6	1	1. 5	2. 5	4	5	8	12	18	30	48	75	0. 12	0. 18	0. 30	0. 48	0. 75	1. 2	1. 8
6	10	0. 4	0. 6	1	1. 5	2. 5	4	6	9	15	22	36	58	90	0. 15	0. 22	0. 36	0. 58	0. 90	1. 5	2. 2
10	18	0. 5	0. 8	1. 2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	0. 18	0. 27	0. 43	0. 70	1. 10	1. 8	2. 7
18	30	0. 6	1	1. 5	2. 5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	0. 21	0. 33	0. 52	0. 84	1. 30	2. 1	3. 3
30	50	0. 6	1	1. 5	2. 5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	0. 25	0. 39	0. 62	1. 00	1. 60	2. 5	3. 9
50	80	0. 8	1. 2	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	0. 30	0. 46	0. 74	0. 20	1. 90	3	4. 6
80	120	1	1. 5	2. 5	4	6	10	15	22	35	54	97	140	220	0. 35	0. 54	0. 87	1. 40	2. 20	3. 5	5. 4
120	180	1. 2	2	3. 5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	0. 40	0. 63	1. 00	1. 60	2. 50	4	6. 3
180	250	2	3	4. 5	7	10	14	20	29	45	72	115	185	290	0. 46	0. 72	1. 15	1. 85	2. 90	4. 6	7. 2
250	315	2. 5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	0. 52	0. 81	1. 30	2. 10	3. 20	5. 2	8. 1
315	400	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	0. 57	0. 89	1. 40	2. 30	3. 60	5. 7	8. 9
400	500	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	0. 63	0. 97	1. 55	2. 50	4. 00	6. 3	9. 7
500	630	4. 5	6	9	11	16	22	30	44	70	110	175	280	440	0. 70	1. 10	1. 75	2. 80	4. 40	7	11. 0
630	800	5	7	10	13	18	25	35	50	80	125	200	320	500	0. 80	1. 25	2. 00	3. 20	5. 00	8	12. 5
800	1000	5. 5	8	11	15	21	29	40	56	90	140	230	360	560	0. 90	1. 40	2. 30	3. 60	5. 60	9	14. 0
1000	1250	6. 5	9	13	18	24	34	46	66	105	165	260	420	660	1. 05	1. 65	2. 60	4. 20	6. 60	10. 5	16. 5
1250	1600	8	11	15	21	29	40	54	78	125	195	310	500	780	1. 25	1. 95	3. 10	5. 00	7. 80	12. 5	19. 5
1600	2000	9	13	18	25	35	48	65	92	150	230	370	600	920	1. 50	2. 30	3. 70	6. 00	9. 20	15	23. 0
2000	2500	11	15	22	30	41	57	77	110	175	280	440	700	1100	1. 75	2. 80	4. 40	7. 00	11. 00	17. 5	28. 0
2500	3150	13	18	26	36	50	69	93	135	210	330	540	860	1350	2. 10	3. 30	5. 40	8. 60	13. 50	21	33. 0

注：基本尺寸小于 1mm 时，无 IT14 ~ IT18。

3.5.3　基本偏差

1. 基本偏差定义

国家标准规定，将确定公差带相对于零线位置的那个极限偏差叫做基本偏差。基本偏差可以是上偏差，也可以是下偏差（JS 和 js 除外），一般将靠近零线的那个偏差作为基本偏差，如图 3-16 所示。

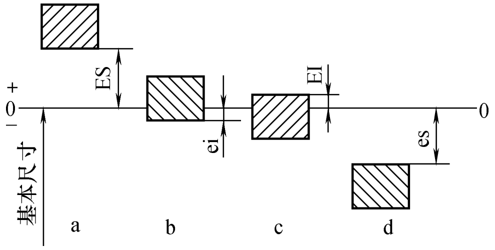


图 3-16　基本偏差示意图

当公差带在零线上方时，图中 a、b 的下偏差靠近零线，基本偏差分别是下偏差 EI 和 ei；当公差带在零线下方时，图中 c、d 的上偏差靠近零线，基本偏差分别是上偏差 ES 和 es。

规定基本偏差是为了使公差带的位置标准化。

2. 基本偏差数值

基本偏差代号用拉丁字母表示，大写的为孔，小写的为轴，各 28 个，用以满足各种不同配合性质的需要。表 3-3 为轴的基本偏差数值，表 3-4 为孔的基本偏差数值。

3. 基本偏差解读

为形象地反映基本偏差，将基本偏差系列用图形的方法显示，即如图 3-17 所示的基本偏差系列示意图。

根据基本偏差定义，从图中看出：

1）对于孔，从 A ~ H 基本偏差为下偏差 EI，H 的下偏差 EI = 0，以后（JS 除外）的基本偏差均为上偏差 ES。

2）对于轴，从 a ~ h 基本偏差为上偏差 es，h 的上偏差 es = 0，以后（js 除外）的基本偏差均为下偏差 ei。

3）H 的下偏差和 h 的上偏差均为零，则分别将它们叫做基准孔和基准轴。

根据基本偏差示意图还可以引申理解为：

1）基本偏差是极限偏差的起始线。当起始线在零线上方时，其公差带向正值方向延伸；当起始线在零线下方时，其公差带向负值方向延伸。

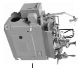


表 3-3a　轴的基本偏差数值表（一）　　（单位：μm）

基本偏差		上偏差(es)												下偏差(ei)		
		a	b	c	cd	d	e	ef	f	fg	g	h	js	j		
基本尺寸/mm		公 差 等 级														
大于	至	所 有 等 级												5、6	7	8
—	3	-270	-140	-60	-34	-20	-14	-10	-6	-4	-2	0		-2	-4	-6
3	6	-270	-140	-70	-46	-30	-20	-14	-10	-6	-4	0		-2	-4	—
6	10	-280	-150	-80	-56	-40	-25	-18	-13	-8	-5	0		-2	-5	—
10	14	-290	-150	-95	—	-50	-32	—	-16	—	-6	0		-3	-6	—
14	18															
18	24	-300	-160	-110	—	-65	-40	—	-20	—	-7	0		-4	-8	—
24	30															
30	40	-310	-170	-120	—	-80	-50	—	-25	—	-9	0		-5	-10	—
40	50	-320	-180	-130												
50	65	-340	-190	-140	—	-100	-60	—	-30	—	-10	0	偏差 = ±IT/2	-7	-12	—
65	80	-360	-200	-150												
80	100	-380	-220	-170	—	-120	-72	—	-36	—	-12	0		-9	-15	—
100	120	-410	-240	-180												
120	140	-460	-260	-200	—	-145	-85	—	-43	—	-14	0		-11	-18	—
140	160	-520	-280	-210												
160	180	-580	-310	-230												
180	200	-660	-340	-240	—	-170	-100	—	-50	—	-15	0		-13	-21	—
200	225	-740	-380	-260												
225	250	-820	-420	-280												

（续）

基本偏差		上偏差(es)												下偏差(ei)		
		a	b	c	cd	d	e	ef	f	fg	g	h	js	j		
基本尺寸/mm		公　差　等　级														
大于	至	所　有　等　级												5、6	7	8
250	280	−920	−480	−300	—	−190	−110	—	−56	—	−17	0	偏差 = ±IT/2	−16	−26	—
280	315	−1050	−540	−330												
315	355	−1200	−600	−360	—	−210	−125	—	−62	—	−18	0		−18	−28	—
355	400	−1350	−680	−400												
400	450	−1500	−760	−440	—	−230	−135	—	−68	—	−20	0		−20	−32	—
450	500	−1650	−840	−480												
公差等级		6 至 18														
500	560					−260	−145		−76		−22	0	偏差 = ±IT/2			
560	630															
630	710					−290	−160		−80		−24	0				
710	800															
800	900					−320	−170		−86		−26	0				
900	1000															
1000	1120					−350	−195		−98		−28	0				
1120	1250															
1250	1400					−390	−220		−110		−30	0				
1400	1600															
1600	1800					−430	−240		−120		−32	0				
1800	2000															
2000	2240					−480	−260		−130		−34	0				
2240	2500															
2500	2800					−520	−290		−145		−38	0				
2800	3150															

表 3-3b　轴的基本偏差数值表(二)　　(单位:μm)

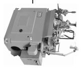
基本偏差		下偏差(ei)															
		k		m	n	p	r	s	t	u	v	x	y	z	za	zb	zc
基本尺寸/mm		公差等级															
大于	至	4~7	≤3 >7	所　有　等　级													
—	3	0	0	+2	+4	+6	+10	+14	—	+18	—	+20	—	+26	+32	+40	+60
3	6	+1	0	+4	+8	+12	+15	+19	—	+23	—	+28	—	+35	+42	+50	+80
6	10	+1	0	+6	+10	+15	+19	+23	—	+28	—	+34	—	+42	+52	+67	+97
10	14	+1	0	+7	+12	+18	+23	+28	—	+33	—	+40	—	+50	+64	+90	+130
14	18										+39	+45	—	+60	+77	+108	+150
18	24	+2	0	+8	+15	+22	+28	+35	—	+41	+47	+54	+63	+73	+98	+136	+188
24	30								+41	+48	+55	+64	+75	+88	+118	+160	+218
30	40	+2	0	+9	+17	+26	+34	+43	+48	+60	+68	+80	+94	+112	+148	+200	+274
40	50								+54	+70	+81	+97	+114	+136	+180	+242	+325
50	65	+2	0	+11	+20	+32	+41	+53	+66	+87	+102	+122	+144	+172	+226	+300	+405
65	80						+43	+59	+75	+102	+120	+146	+174	+210	+274	+360	+480
80	100	+3	0	+13	+23	+37	+51	+71	+91	+124	+146	+178	+214	+258	+335	+445	+585
100	120						+54	+79	+104	+144	+172	+210	+254	+310	+400	+525	+690
120	140	+3	0	+15	+27	+43	+63	+92	+122	+170	+202	+248	+300	+365	+470	+620	+800
140	160						+65	+100	+134	+190	+228	+280	+340	+415	+535	+700	+900
160	180						+68	+108	+146	+210	+252	+310	+380	+465	+600	+780	+1000
180	200	+4	0	+17	+31	+50	+77	+122	+166	+236	+284	+350	+425	+520	+670	+880	+1150
200	225						+80	+130	+180	+258	+310	+385	+470	+575	+740	+960	+1250
225	250						+84	+140	+196	+284	+340	+425	+520	+640	+820	+1050	+1350

（续）

基本偏差		下偏差(ei)															
		k		m	n	p	r	s	t	u	v	x	y	z	za	zb	zc
基本尺寸/mm		公差等级															
大于	至	4～7	≤3 >7	所 有 等 级													
250	280	+4	0	+20	+34	+56	+94	+158	+218	+315	+385	+475	+580	+710	+920	+1200	+1550
280	315						+98	+170	+240	+350	+425	+525	+650	+790	+1000	+1300	+1700
315	355	+4	0	+21	+37	+62	+108	+190	+268	+390	+475	+590	+730	+900	+1150	+1500	+1900
355	400						+114	+208	+294	+435	+530	+660	+820	+1000	+1300	+1650	+2100
400	450	+5	0	+23	+40	+68	+126	+232	+330	+490	+595	+740	+920	+1100	+1450	+1850	+2400
450	500						+132	+252	+360	+540	+660	+820	+1000	+1250	+1600	+2100	+2600
500	560	0		+26	+44	+78	+150	+280	+400	+600							
560	630						+155	+310	+450	+660							
630	710	0		+30	+50	+88	+175	+340	+500	+740							
710	800						+185	+380	+560	+840							
800	900	0		+34	+56	+100	+210	+430	+620	+940							
900	1000						+220	+470	+680	+1050							
1000	1120	0		+40	+66	+120	+250	+520	+780	+1150							
1120	1250						+260	+580	+840	+1300							
1250	1400	0		+48	+78	+140	+300	+640	+960	+1450							
1400	1600						+330	+720	+1050	+1600							
1600	1800	0		+58	+92	+170	+370	+820	+1200	+1850							
1800	2000						+400	+920	+1350	+2000							
2000	2240	0		+68	+110	+195	+440	+1000	+1500	+2300							
2240	2500						+460	+1100	+1650	+2500							
2500	2800	0		+76	+135	+240	+550	+1250	+1900	+2900							
2800	3150						+580	+1400	+2100	+3200							

注：1. 基本尺寸小于 1mm 时，各级的 a 和 b 均不采用。

2. js 的数值，对 IT7～IT11，若 IT 的数值（μm）为奇数，则取 $js = \pm\frac{IT-1}{2}$。



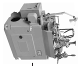
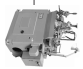


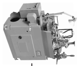
表 3-4　孔的基本偏差数值表　　（单位：μm）

基本偏差		下偏差(EI)												上偏差(ES)								
		A	B	C	CD	D	E	EF	F	FG	G	H	Js	J			K		M		N	
基本尺寸/mm		公差等级																				
大于	至	所有等级												6	7	8	≤8	>8	≤8	>8	≤8	>8
	3	+270	+140	+60	+34	+20	+14	+10	+6	+4	+2	0	偏差 = $\pm\frac{IT}{2}$	+2	+4	+6	0	0	−2	−2	−4	−4
3	6	+270	+140	+70	+46	+30	+20	+14	+10	+6	+4	0		+5	+6	+10	$-1+\Delta$	—	$-4+\Delta$	−4	$-8+\Delta$	0
6	10	+280	+150	+80	+56	+40	+25	+18	+13	+8	+5	0		+5	+8	+12	$-1+\Delta$	—	$-6+\Delta$	−6	$-10+\Delta$	0
10	14	+290	+150	+95	—	+50	+32	—	+16	—	+6	0		+6	+10	+15	$-1+\Delta$	—	$-7+\Delta$	−7	$-12+\Delta$	0
14	18																					
18	24	+300	+160	+110	—	+65	+40	—	+20	—	+7	0		+8	+12	+20	$-2+\Delta$	—	$-8+\Delta$	−8	$-15+\Delta$	0
24	30																					
30	40	+310	+170	+120	—	+80	+50	—	+25	—	+9	0		+10	+14	+24	$-2+\Delta$	—	$-9+\Delta$	−9	$-17+\Delta$	0
40	50	+320	+180	+130																		
50	65	+340	+190	+140	—	+100	+60	—	+30	—	+10	0		+13	+18	+28	$-2+\Delta$	—	$-11+\Delta$	−11	$-20+\Delta$	0
65	80	+360	+200	+150																		
80	100	+380	+220	+170	—	+120	+72	—	+36	—	+12	0		+16	+22	+34	$-3+\Delta$	—	$-13+\Delta$	−13	$-23+\Delta$	0
100	120	+410	+240	+180																		

（续）

基本偏差		下偏差(EI)												上偏差(ES)								
		A	B	C	CD	D	E	EF	F	FG	G	H	Js	J			K		M		N	
基本尺寸/mm		公差等级																				
大于	至	所有等级												6	7	8	≤8	>8	≤8	>8	≤8	>8
120	140	+460	+260	+200	—	+145	+85	—	+43	—	+14	0	偏差 = $\pm\frac{IT}{2}$	+18	+26	+41	$-3+\Delta$	—	$-15+\Delta$	−15	$-27+\Delta$	0
140	160	+520	+280	+210																		
160	180	+580	+310	+230																		
180	200	+660	+340	+240	—	+170	+100	—	+50	—	+50	0		+22	+30	+47	$-4+\Delta$	—	$-17+\Delta$	−17	$-31+\Delta$	0
200	225	+740	+380	+260																		
225	250	+820	+420	+280																		
250	280	+920	+480	+300	—	+190	+110	—	+56	—	+17	0		+25	+36	+55	$-4+\Delta$	—	$-20+\Delta$	−20	$-34+\Delta$	0
280	315	+1050	+540	+330																		
315	355	+120	+600	+360	—	+210	+125	—	+62	—	+18	0		+29	+39	+60	$-4+\Delta$	—	$-21+\Delta$	−21	$-37+\Delta$	0
355	400	+1350	+680	+400																		
400	450	+1500	+760	+440	—	+230	+135	—	+68	—	+20	0		+33	+43	+66	$-5+\Delta$	—	$-23+\Delta$	−23	$-40+\Delta$	0
450	500	+1650	+840	+480																		



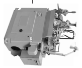


（续）

基本偏差		下偏差(EI)												上偏差(ES)								
		A	B	C	CD	D	E	EF	F	FG	G	H	Js	J			K		M		N	
基本尺寸/mm		公差等级																				
大于	至	所有等级												6	7	8	≤8	>8	≤8	>8	≤8	>8
公差等级		6 至 18																				
500	560					+260	+145		+76		+22	0					0		−26		−44	
560	630																					
630	710					+290	+160		+80		+24	0					0		−30		−50	
710	800																					
800	900					+320	+170		+86		+26	0					0		−34		−56	
900	1000																					
1000	1120					+350	+195		+98		+28	0					0		−40		−66	
1120	1250												偏差 = ± IT/2									
1250	1400					+390	+220		+110		+30	0					0		−48		−78	
1400	1600																					
1600	1800					+430	+240		+120		+32	0					0		−58		−92	
1800	2000																					
2000	2240					+480	+260		+130		+34	0					0		−68		−110	
2240	2500																					
2500	2800					+520	+290		+145		+38	0					0		−76		−135	
2800	3150																					

(续)

基本偏差		上偏差(ES)													Δ					
		P~ZC	P	R	S	T	U	V	X	Y	Z	ZA	ZB	ZC						
基本尺寸/mm		公差等级																		
大于	至	≤7	>7												3	4	5	6	7	8
—	3	在7级的相应数值上增加一个Δ值	-6	-10	-14	—	-18	—	-20	—	-26	-32	-40	-60	0					
3	6		-12	-15	-19	—	-23	—	-28	—	-35	-42	-50	-80	1	1.5	1	3	4	6
6	10		-15	-19	-23	—	-28	—	-34	—	-42	-52	-67	-97	1	1.5	2	3	6	7
10	14		-18	-23	-28	—	-33	—	-40	—	-50	-64	-90	-130	1	2	3	3	7	9
14	18							-39	-45	—	-60	-77	-108	-150						
18	24		-22	-28	-35	—	-41	-47	-54	-63	-73	-98	-136	-188	1.5	2	3	4	8	12
24	30					-41	-48	-55	-64	-75	-88	-118	-160	-218						
30	40		-26	-34	-43	-48	-60	-68	-80	-94	-112	-148	-200	-274	1.5	3	4	5	9	14
40	50					-54	-70	-81	-97	-114	-136	-180	-242	-325						
50	65		-32	-41	-53	-66	-87	-102	-122	-144	-172	-226	-300	-405	2	3	5	6	11	16
65	80			-43	-59	-75	-102	-120	-146	-174	-210	-274	-360	-480						
80	100		-37	-51	-71	-91	-124	-146	-178	-214	-258	-335	-445	-585	2	4	5	7	13	19
100	120			-54	-79	-104	-144	-172	-210	-254	-310	-400	-525	-690						
120	140		-43	-63	-92	-122	-170	-202	-248	-300	-365	-470	-620	-800	3	4	6	7	15	23
140	160			-65	-100	-134	-190	-228	-280	-340	-415	-535	-700	-900						
160	180			-68	-108	-146	-210	-252	-310	-380	-465	-600	-780	-1000						
180	200		-50	-77	-122	-166	-236	-284	-350	-425	-520	-670	-880	-1150	3	4	6	9	17	26



（续）

基本偏差		上偏差(ES)													Δ					
		P～ZC	P	R	S	T	U	V	X	Y	Z	ZA	ZB	ZC						
基本尺寸/mm		公差等级																		
大于	至	≤7	>7												3	4	5	6	7	8
200	225	在7级的相应数值上增加一个Δ值	−50	−80	−130	−180	−258	−310	−385	−470	−575	−740	−960	−1250	3	4	6	9	17	26
225	250			−84	−140	−196	−284	−340	−425	−520	−640	−820	−1050	−1350						
250	280		−56	−94	−158	−218	−315	−385	−475	−580	−710	−920	−1200	−1550	4	4	7	9	20	29
280	315			−98	−170	−240	−350	−425	−525	−650	−790	−1000	−1300	−1700						
315	355		−62	−108	−190	−268	−390	−475	−590	−730	−900	−1150	−1500	−1900	4	5	7	11	21	32
355	400			−114	−208	−294	−435	−530	−660	−820	−1000	−1300	−1650	−2100						
400	450		−68	−126	−232	−330	−490	−595	−740	−920	−1100	−1450	−1850	−2400	5	5	7	13	23	34
450	500			−132	−252	−360	−540	−660	−820	−1000	−1250	−1600	−2100	−2600						
公差等级		6至18																		
500	560	—	−78	−150	−280	−400	−600													
560	630			−155	−310	−450	−660													
630	710		−88	−175	−340	−500	−740													
710	800			−185	−380	−560	−840													
800	900		−100	−210	−430	−620	−940													
900	1000			−220	−470	−680	−1050													

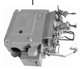
基本偏差		上偏差(ES)													Δ					
		P ~ ZC	P	R	S	T	U	V	X	Y	Z	ZA	ZB	ZC						
基本尺寸/mm		公差等级																		
大于	至	≤7	>7												3	4	5	6	7	8
公差等级		6 至 18																		
1000	1120		−120	−250	−520	−780	−1150													
1120	1250			−260	−580	−840	−1300													
1250	1400		−140	−300	−640	−960	−1450													
1400	1600			−330	−720	−1050	−1600													
1600	1800		−170	−370	−820	−1200	−1850													
1800	2000	—		−400	−920	−1350	−2000													
2000	2240		−195	−440	−1000	−1500	−2300													
2240	2500			−460	−1100	−1650	−2500													
2500	2800		−240	−550	−1250	−1900	−2900													
2800	3150			−580	−1400	−2100	−3200													

注：1. 基本尺寸小于 1mm 时，各级的 A 和 B 及大于 8 级的 N 均不采用。

2. JS 的数值：对 IT7 ~ IT11，若 IT 的数值（μm）为奇数，则取 $JS = \pm\frac{IT-1}{2}$。

3. 特殊情况，当基本尺寸大于 250 ~ 315mm 时，M6 的 ES 等于 −9mm（不等于 −11mm）。

4. 对小于或等于 IT8 的 K、M、N 和小于或等于 IT7 的 P ~ ZC，所需 Δ 值从表内右侧栏选取。例如：大于 6 ~ 10mm 的 P6，Δ = 3，所以 ES = (−15 + 3) μm = −12μm。



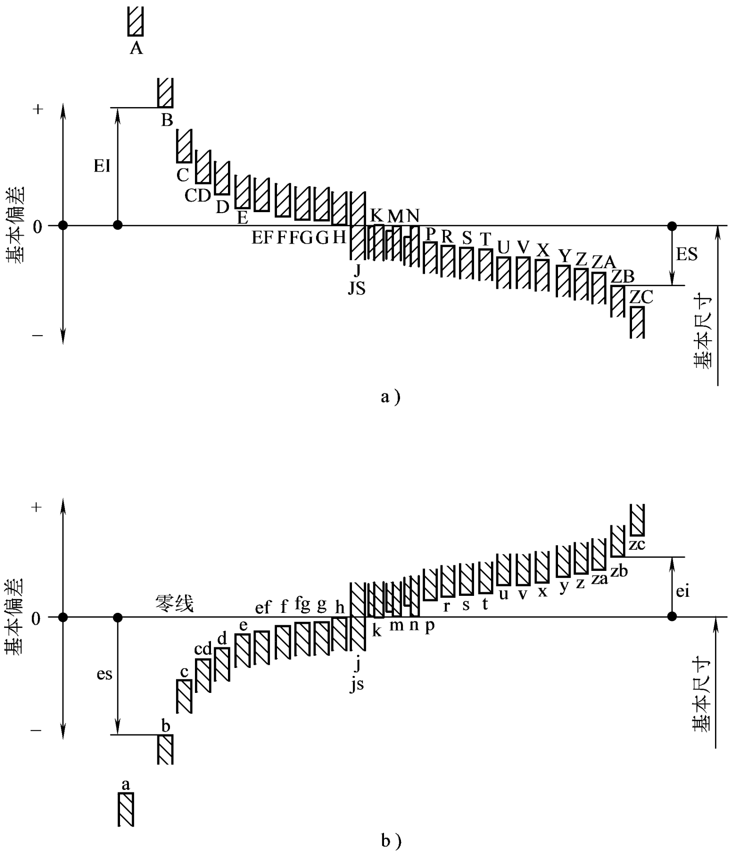


图 3-17　基本偏差系列示意图

a）孔　b）轴

2）极限偏差的起始线及其延伸方向确定后，就可根据标准公差是公差带的宽度这一概念，在起始线的延伸方向上叠加公差带的宽度（即标准公差 IT），即可确定另一个偏差值。其计算方法为：

①当基本偏差为下偏差时，即孔在 A ~ H、轴在 j ~ ZC 范围时，它的上偏差为

孔：　$$ES = EI + IT \tag{3-7}$$

轴：　$$es = ei + IT \tag{3-8}$$

②当基本偏差为上偏差时，即孔在 J ~ ZC、轴在 a ~ h 范围时，它的下偏差为

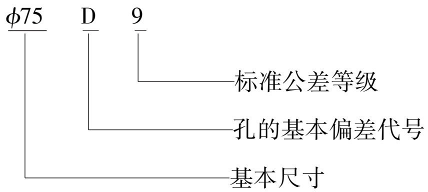
孔：　$$EI = ES - IT \text{ 或 } ES = EI + IT \tag{3-9}$$

轴：　$$ei = es - IT \text{ 或 } es = ei + IT \tag{3-10}$$

4. 极限偏差的标注

某个尺寸的上偏差和下偏差先后确定后，这个尺寸的公差带的位置和数值即极限偏差就可以确定下来。

（1）极限偏差的标注方法　孔和轴的极限偏差由基本偏差代号和标准公差等级组成，如 D9、K7、N6 等为孔的公差带代号；h7、n7、r6 等为轴的公差代号。应用上的完整标注是在基本尺寸后面加上基本偏差代号和标准公差等级，如 ϕ75D9 的含义是



在图样上，一般是将极限偏差的数值直接写在基本尺寸的后边，如

$$\phi75D9 \rightarrow \phi75^{ES}_{EI} \rightarrow \phi75^{+0.174}_{+0.100}$$

（2）极限偏差的确定　当图样上只标注基本偏差代号和标准公差等级（ϕ60G7、ϕ90g6 等）时，我们则应通过计算，确定它们的极限偏差。

极限偏差的计算步骤（以 ϕ60G7、ϕ90g6 等为例）如下：

1）确定形体，是孔还是轴？

由基本偏差代号确定：

ϕ60G7 是孔；

ϕ90g6 是轴。

2）确定极限偏差的性质，是上偏差还是下偏差？

根据图 3-17 确定：

ϕ60G7 是下偏差；

ϕ90g6 是上偏差。

3）确定基本偏差的位置

查表 3-4，ϕ60G7 下偏差的数值即位置为：$EI = 0.010\mu m$；

查表 3-3，ϕ90g6 上偏差的数值即位置为：$es = -0.012\mu m$。

4）确定公差带宽度

查表 3-2，ϕ60G7 的标准公差即公差宽度为：$IT7 = 0.030\mu m$；

ϕ90g6 的标准公差即公差宽度为：$IT6 = 0.022\mu m$。

5）确定公差带的终止位置，即求另一个偏差

ϕ60G7 的基本偏差是下偏差，根据式（3-7），它的上偏差 ES 为

$$ES = EI + IT = (0.010 + 0.030)\mu m = 0.040\mu m$$

$\phi 90g6$ 的基本偏差是上偏差，根据式（3-10），它的下偏差 ei 为

$$Ei = es - IT = (-0.012 - 0.022)\mu m = -0.034\mu m$$

那么，它们的极限偏差分别为

$$\phi 60G7 \rightarrow \phi 60_{EI}^{ES} \rightarrow \phi 60_{+0.010}^{+0.040}\mu m$$

$$\phi 90g6 \rightarrow \phi 90_{ei}^{es} \rightarrow \phi 90_{-0.034}^{-0.012}\mu m$$

3.5.4　配合

配合是指基本尺寸相同的、相互结合的孔和轴的公差带之间的关系。

孔和轴的配合代号用分数形式表示。分子是孔的公差带代号，分母是轴的公差带代号，如$\frac{H7}{g6}$，或 H7/g6。配合代号一般应用在装配图上，并注有配合的基本尺寸，这时用基本尺寸和配合代号完整地表示出来，如 $\phi 60\ \frac{H7}{g6}$或写成 $\phi 60H7/g6$。

1. 配合种类

基本尺寸相同的孔和轴，在相互结合时，为获得不同性质的配合，得到不同松紧程度的配合，将配合分为间隙配合、过盈配合和过渡配合三大类。

（1）间隙配合　具有间隙（包括最小间隙等于零）的配合，称为间隙配合。这类配合的特点是：孔的最小极限尺寸 D_{min}与轴的最大极限尺寸 d_{max}之差总是大于或等于零，即

$$D_{min} - d_{max} \geqslant 0$$

所以孔的公差带总在轴的公差带之上，如图 3-18 所示，其中如右图所示最小间隙等于零。

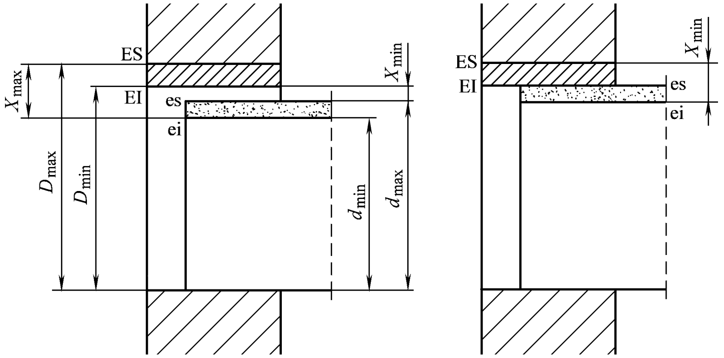


图 3-18　间隙配合公差带

在间隙配合中，由于孔和轴的实际尺寸在各自的极限尺寸范围内变动，因此

孔和轴在配合中的间隙量也在最大间隙 X_{max} 和最小间隙 X_{min} 这两个量之间变化。这两个量可用计算式表示为

$$X_{max} = D_{max} - d_{min} \tag{3-11}$$

$$X_{min} = D_{min} - d_{max} \tag{3-12}$$

为简化运算，可按上偏差 ES、es 和下偏差 EI、ei 表示：

$$X_{max} = \mathrm{ES} - \mathrm{ei} \tag{3-13}$$

$$X_{min} = \mathrm{EI} - \mathrm{es} \tag{3-14}$$

（2）过盈配合　具有过盈（包括最小过盈等于零）的配合，称为过盈配合。这类配合的特点是：孔的最大极限尺寸 D_{max} 与轴的最小极限尺寸 d_{min} 之差总是小于或等于零，即

$$D_{max} - d_{min} \leqslant 0$$

所以孔的公差带总在轴的公差带之下，如图 3-19 所示，其中如右图所示最小过盈等于零。

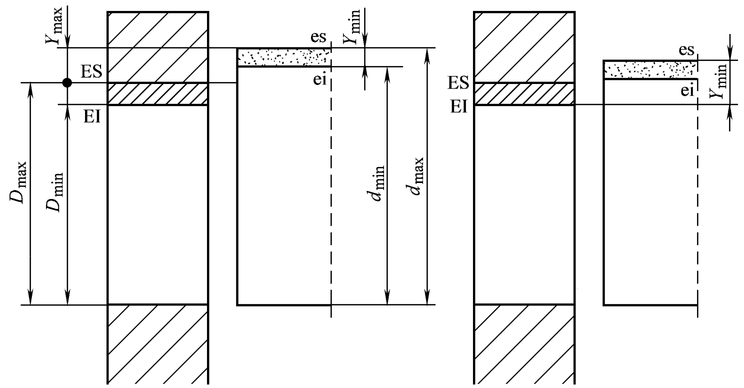


图 3-19　过盈配合公差带

在过盈配合中，由于孔和轴的实际尺寸在各自的极限尺寸范围内变动，因此孔和轴在配合中的过盈量也随之变化，从而存在最大过盈 Y_{max} 和最小过盈 Y_{min} 两个量。这两个量用计算式表示为

$$Y_{max} = D_{min} - d_{max} \tag{3-15}$$

$$Y_{min} = D_{max} - d_{min} \tag{3-16}$$

为简化运算，可按上偏差 ES、es 和下偏差 EI、ei 表示

$$Y_{max} = \mathrm{EI} - \mathrm{es} \tag{3-17}$$

$$Y_{min} = \mathrm{ES} - \mathrm{ei} \tag{3-18}$$

（3）过渡配合　可能具有间隙或过盈的配合，称为过渡配合。这类配合的特点是：孔和轴的公差带相互交叠，如图 3-20 所示。所以孔的最小极限尺寸

D_{min}与轴的最大极限尺寸d_{max}之差可能出现正值，也可能出现负值，即可能出现间隙配合或过盈配合的情况：

当$D_{min}-d_{max}>0$时，是间隙配合；

当$D_{min}-d_{max}<0$时，是过盈配合。

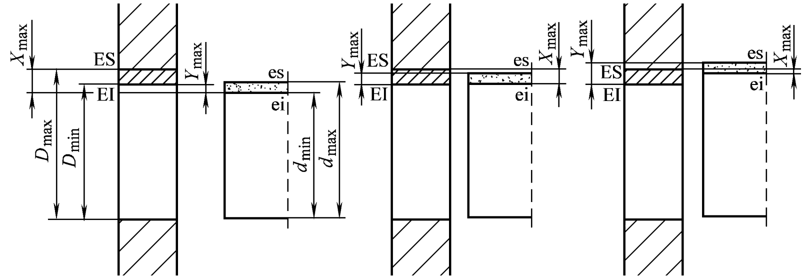


图3-20　过渡配合公差带

由于孔和轴的实际尺寸在各自的极限尺寸范围内变动，因此孔和轴在配合中的间隙量和过盈量也随之变化，最大间隙X_{max}和最大过盈Y_{max}用计算式表示为

$$X_{max}=D_{max}-d_{min} \tag{3-19}$$

$$Y_{max}=D_{min}-d_{max} \tag{3-20}$$

它们也可用上偏差ES、es和下偏差EI、ei表示

$$X_{max}=ES-ei \tag{3-21}$$

$$Y_{max}=EI-es \tag{3-22}$$

2. 配合公差

在孔和轴的配合中，允许间隙或过盈的变动量称为配合公差T。配合公差是没有符号的绝对值。

对于间隙配合，配合公差等于最大间隙X_{max}与最小间隙X_{min}之代数差的绝对值；对于过盈配合，配合公差等于最小过盈Y_{min}与最大过盈Y_{max}之代数差的绝对值；对于过渡配合，配合公差等于最大间隙X_{max}与最大过盈Y_{max}之代数差的绝对值，即

（1）间隙配合　$T=|X_{max}-X_{min}|$　（3-23）

（2）过盈配合　$T=|Y_{min}-Y_{max}|$　（3-24）

（3）过渡配合　$T=|X_{max}-Y_{max}|$　（3-25）

配合公差直观地反映孔和轴配合的松紧程度。

3. 公差制度

为使配合标准化、规范化，国家标准规定了基准制的公差制度，即基孔制和基轴制。

（1）基孔制　以基本偏差为一定的、孔的公差带位置固定不变，只改变轴

的公差带位置，就可以得到不同性质的配合的公差制度称为基孔制。

在基孔制配合中的孔称为基准孔，其基本偏差代号为“H”，并根据配合精度，选择其公差等级。它的下偏差为基本偏差，其值都为零；上偏差根据标准公差的等级选取。轴的基本偏差则由配合的种类和配合的松紧程度选取，如图 3-21 所示。

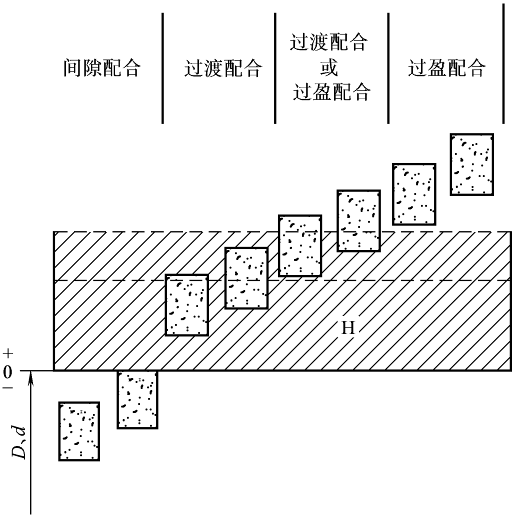


图 3-21　基孔制配合公差带

在基孔制中，基准孔为 H，轴则从 a→h 用于间隙配合；j→ZC 用于过渡配合或过盈配合。

基孔制的应用较广，如在机械设计中，当相互配合的孔和轴都需要加工时，往往采用基孔制。

（2）基轴制　以基本偏差为一定的轴的公差带位置固定不变，只改变孔的公差带位置，也可以得到不同性质的配合的公差制度称为基轴制。

在基轴制配合中的轴称为基准轴，其基本偏差代号为“h”，并根据配合精度选择其公差等级。它的上偏差为基本偏差，其值都为零；下偏差根据标准公差的等级选取。孔的基本偏差则由配合的种类和配合的松紧程度选取，如图 3-22 所示。

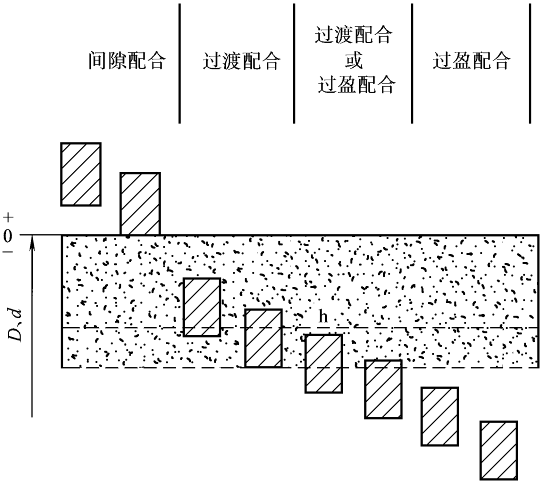


图 3-22　基轴制配合公差带

在基轴制中，基准轴为 h，轴则从 A ~ H 用于间隙配合；J ~ ZC 用于过渡配合或过盈配合。

基轴制多根据以精度较高的配件外径，车削配合孔的场合，如以滚动轴承的外径，配制轴承孔等。

4. 公差带及配合的选用原则

孔和轴的公差带及配合，应首先采用优先公差带及优先配合，其次采用常用公差带及常用配合，再次采用一般用途公差带。必要时，可按标准所规定的标准公差（表3-2）与基本偏差组成孔和轴的公差带及配合。

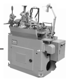
（1）极限偏差

1）优先用途轴的极限偏差见表3-5。

2）优先用途孔的极限偏差见表3-6。

表3-5　优先用途轴的极限偏差（尺寸≤500mm）　　（单位：μm）

基本尺寸/mm		公差带												
		c	d	f	g	h				k	n	p	s	u
大于	至	11	9	7	6	6	7	9	11	6	6	6	6	6
—	3	-60 -120	-20 -45	-6 -16	-2 -8	0 -6	0 -10	0 -25	0 -60	+6 0	+10 +4	+12 +6	+20 +14	+24 +18
3	6	-70 -145	-30 -60	-10 -22	-4 -12	0 -8	0 -12	0 -30	0 -75	+9 +1	+16 +8	+20 +12	+27 +19	+31 +23
6	10	-80 -170	-40 -76	-13 -28	-5 -14	0 -19	0 -15	0 -36	0 -90	+10 +1	+19 +10	+24 +15	+32 +23	+37 +28
10	14	-95 -205	-50 -93	-16 -34	-6 -17	0 -11	0 -18	0 -43	0 -110	+12 +1	+23 +12	+29 +18	+39 +28	+44 +33
14	18													
18	24	-110 -240	-65 -117	-20 -41	-7 -20	0 -13	0 -21	0 -52	0 -130	+15 +2	+28 +15	+35 +22	+48 +35	+54 +41
24	30													+61 +48
30	40	-120 -280	-80 -142	-25 -50	-9 -25	0 -16	0 -25	0 -62	0 -160	+18 +2	+33 +17	+42 +26	+59 +43	+76 +60
40	50	-130 -290												+86 +70
50	65	-140 -330	-100 -174	-30 -60	-10 -29	0 -19	0 -30	0 -74	0 -190	+21 +2	+39 +20	+51 +32	+72 +53	+106 +87
65	80	-150 -340											+78 +59	+121 +102
80	100	-170 -390	-120 -207	-36 -71	-12 -34	0 -22	0 -35	0 -87	0 -220	+25 +3	+45 +23	+59 +37	+93 +71	+146 +124
100	120	-180 -400											+101 +79	+166 +144



（续）

基本尺寸/mm		公差带												
		c	d	f	g	h				k	n	p	s	u
大于	至	11	9	7	6	6	7	9	11	6	6	6	6	6
120	140	-200 -450											+117 +92	+195 +170
140	160	-210 -460	-145 -245	-43 -83	-14 -39	0 -25	0 -40	0 -100	0 -250	+28 +3	+52 +27	+68 +43	+125 +100	+215 +190
160	180	-230 -480											+133 +108	+235 +210
180	200	-240 -530											+151 +122	+265 +236
200	225	-260 -550	-170 -285	-50 -96	-15 -44	0 -29	0 -46	0 -115	0 -290	+33 +4	+60 +31	+79 +50	+159 +130	+287 +258
225	250	-280 -570											+169 +140	+313 +284
250	280	-30 -620	-190 -320	-56 -108	-17 -49	0 -32	0 -52	0 -130	0 -320	+36 +4	+66 +34	+88 +56	+190 +158	+347 +315
280	315	-330 -650											+202 +170	+382 +350
315	355	-360 -720	-210 -350	-62 -119	-18 -49	0 -36	0 -57	0 -140	0 -360	+40 +4	+73 +37	+98 +62	+226 +190	+426 +390
355	400	-400 -760											+244 +208	+471 +435
400	450	-440 -840	-230 -385	-68 -131	-20 -60	0 -40	0 -63	0 -155	0 -400	+45 +5	+80 +40	+108 +68	+272 +232	+530 +490
450	500	-480 -880											+292 +252	+580 +540

表 3-6　优先用途孔的极限偏差（尺寸≤500mm）　　（单位：μm）

基本尺寸/mm		公差带												
		c	d	f	g	h			k	n	p	s	u	
大于	至	11	9	8	7	7	8	9	11	7	7	7	7	7
—	3	+120 +60	+45 +20	+20 +6	+12 +2	+10 0	+14 0	+25 0	+60 0	0 -10	-4 -14	-6 -16	-14 -24	-18 -28
3	6	+145 +70	+60 +30	+28 +10	+16 +4	+12 0	+18 0	+30 0	+75 0	+3 -9	-4 -16	-8 -20	-15 -27	-19 -31
6	10	+170 +80	+76 +40	+35 +13	+20 +5	+15 +0	+22 +0	+36 0	+90 0	+5 -10	-4 -19	-9 -24	-17 -32	-22 -37
10	14	+205 +95	+93 +50	+43 16	+24 6	+18 0	+27 0	+43 0	+110 0	+6 -12	-5 -23	-11 -29	-21 -39	-26 -44
14	18													
18	24	+240 +110	+117 +65	+53 +20	+28 +7	+21 0	+33 0	+52 0	1630 0	+6 -15	-7 -28	-14 -35	-27 -48	-33 -54
24	30													-40 -61
30	40	+280 +120	+142 +30	+64 +25	+34 +9	+25 0	+39 0	+62 0	+160 0	+7 -18	-8 -33	-17 -42	-34 -59	-51 -76
40	50	+290 +130												-61 -86
50	65	+330 +140	+174 +100	+76 +30	+40 +10	+30 0	+46 0	+74 0	+190 0	+9 -21	-9 -39	-21 -51	-42 -72	-76 -106
65	80	+340 +150											-45 -78	-91 -121
80	100	+390 +170	+207 +120	+90 36	+47 12	+35 0	+54 0	+87 0	+220 0	+10 -25	-10 -45	-24 -59	-58 -93	-111 -146
100	120	+490 +180											-66 -101	-131 -166
120	140	+450 +200	+245 +145	+106 +43	+54 +14	+40 0	+63 0	+100 0	+250 0	+12 -28	-12 -52	-28 -68	-77 -117	-155 -195
140	160	+460 +210											-85 -125	-175 -235
160	180	+480 +230											-93 -133	-219 -265

（续）

基本尺寸/mm		公差带												
		c	d	f	g	h			k	n	p	s	u	
大于	至	11	9	8	7	7	8	9	11	7	7	7	7	7
180	200	+530 +240											−105 −151	−219 −265
200	225	+550 +260	+285 +170	+122 +50	+61 +15	+46 0	+72 0	+115 0	+290 0	+23 −33	−14 −60	−33 −79	−113 −159	−241 −287
225	250	+570 +280											−123 −169	−267 −313
250	280	+620 +300	+320 +190	+137 +56	+69 +17	+52 0	+81 0	+130 0	+320 0	+16 −36	−14 −66	−36 −88	−138 −190	−295 −347
280	315	+650 +330											−150 −202	−330 −382
315	355	+720 +360	+350 +210	+151 +62	+75 +18	+57 0	+89 0	+140 0	+360 0	+17 −40	−16 −73	−41 −98	−169 −226	−369 −426
355	400	+760 +400											−187 −244	−414 −471
400	450	+840 +440	+385 +230	+165 +68	+83 +68	+63 0	+97 0	+155 0	+400 0	+18 −45	−17 −80	−45 −108	−209 −272	−467 −530
450	500	+880 +480											−229 −292	−517 −580

（2）公差带

1）轴的优先和常用公差带见图 3-23。

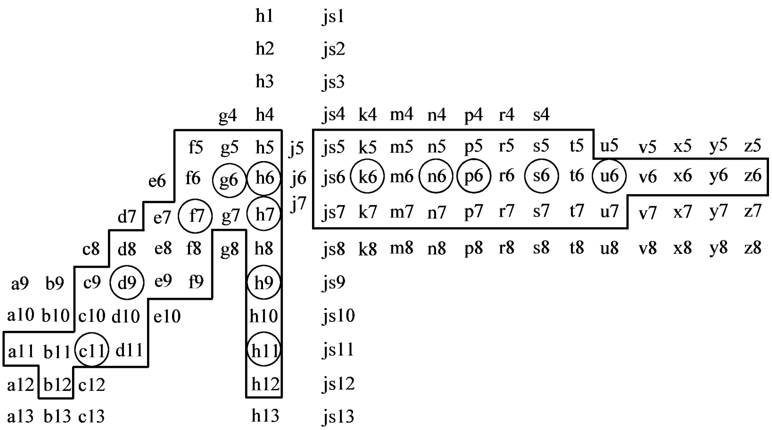


图 3-23　轴的优先和常用公差带

注：1. 轴的一般的公差带，共 119 个（包括常用和优先）。
2. 带方框的为常用公差带，共 59 个（包括优先）。
3. 圆圈中的为优先公差带，共 13 个。

2）孔的优先和常用公差带见图 3-24。

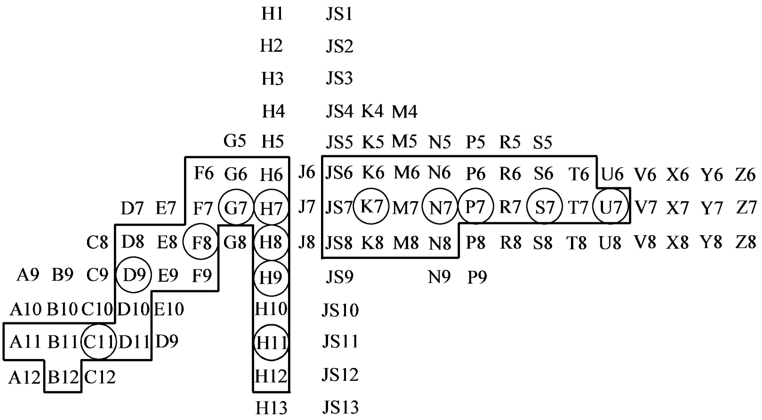


图 3-24　孔的优先和常用公差带

注：1. 孔的一般的公差带，共105个（包括常用和优先）。

2. 带方框的为常用公差带，共44个（包括优先）。

3. 圆圈中的为优先公差带，共13个。

（3）配合

1）基孔制优先和常用配合见表3-7。

表 3-7　基孔制优先和常用配合

基准孔	轴																				
	a	b	c	d	e	f	g	h	js	k	m	n	p	r	s	t	u	v	x	y	z
	间隙配合								过渡配合			过盈配合									
H6						H6/f5	H6/g5	H6/h5	H6/js5	H6/k5	H6/m5	H6/n5	H6/p5	H6/r5	H6/s5	H6/t5					
H7						H7/f6	▼H7/g6	▼H7/h6	H7/js6	▼H7/k6	H7/m6	▼H7/n6	▼H7/p6	H7/r6	▼H7/s6	H7/t6	▼H7/u6	H7/v6	H7/x6	H7/y6	H7/z6
H8						H8/e7	▼H8/f7	▼H8/h7	H8/js7	H8/k7	H8/m7	H8/n7	H8/p7	H8/r7	H8/s7	H8/t7	H8/u7				
				H8/d8	H8/e8	H8/f8		H8/h8													
H9			H8/c9	▼H9/d9	H9/e9	H9/f9		▼H9/h9													
H10			H10/c10	H10/d10				H10/h10													
H11	H11/a11	H11/b11	▼H11/c11	H11/d11				▼H11/h11													
H12		H12/b12						H12/h12													

注：1. $\frac{H6}{n5}$、$\frac{H7}{p6}$在基本尺寸小于或等于3mm和$\frac{H11}{r11}$在小于或等于100mm时，为过渡配合。

2. 标注▼的配合为优先配合。

2）基轴制优先和常用配合见表 3-8。

表 3-8　基轴制优先和常用配合

基准孔	孔																				
	a	b	c	d	e	f	g	h	js	k	m	n	p	r	s	t	u	v	x	y	z
	间隙配合								过渡配合			过盈配合									
h5						F6/h5	G6/h5	H6/h5	JS6/h5	K6/h5	M6/h5	N6/h5	P6/h5	R6/h5	S6/h5	T6/h5					
h6						F7/h6	▼G7/h6	▼H7/h6	JS7/h6	▼K7/h6	M7/h6	▼N7/h6	▼P7/h6	R7/h6	▼S7/h6	T7/h6	▼U7/h6				
h7					E8/h7	▼F8/h7		▼H8/h7	JS8/h7	K8/h7	M8/h7	N8/h7									
h8				D8/h8	E8/h8	F8/h8		H8/h8													
h9				▼D9/h9	E9/h9	F9/h9		▼H9/h9													
h10				D10/h10				H10/h10													
h11	A11/h11	B11/h11	▼C11/h11	D11/h11				▼H11/h11													
h12		B12/h12						H12/h12													

注：标注▼的配合为优先配合。

3.5.5　公差与配合应用计算实例

【实例 3-2】　计算极限尺寸和公差实例

有一短轴如图 3-25 所示，试指出各部分尺寸的偏差，并计算各部尺寸的极限尺寸和公差。

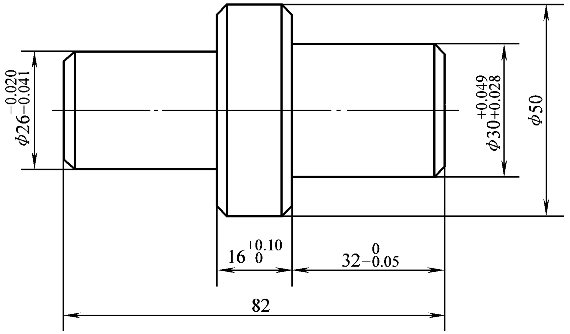


图 3-25　计算极限尺寸用图

解：（1）尺寸 $\phi30^{+0.049}_{+0.028}$ mm：上偏差 es = +0.049mm，下偏差 ei = +0.028mm

最大极限尺寸　$d_{max} = d + es = (30 + 0.049)\,mm = 30.049mm$；

最小极限尺寸　$d_{min} = d + ei = (30 + 0.028)\,mm = 30.028mm$；

公差　$T_s = |d_{max} - d_{min}|$

$= | 30.049 - 30.028 | \text{mm} = 0.021\text{mm}$。

（2）尺寸 $\phi 26^{-0.020}_{-0.041}$mm：上偏差 es = −0.020mm，下偏差 ei = −0.041mm

最大极限尺寸　$d_{max} = d + es = [26 + (-0.020)]\text{mm} = 25.98\text{mm}$；

最小极限尺寸　$d_{min} = d + ei = [26 + (-0.041)]\text{mm} = 25.959\text{mm}$；

公差　$T_s = | es - ei | = | -0.020 - (-0.041) | \text{mm} = 0.021\text{mm}$。

（3）尺寸 $\phi 16^{+0.10}_{0}$mm：上偏差 es = +0.10mm，下偏差 ei = 0

最大极限尺寸　$d_{max} = d + es = (16 + 0.10)\text{mm} = 16.10\text{mm}$；

最小极限尺寸　$d_{min} = d + ei = (16 + 0)\text{mm} = 16\text{mm}$；

公差　$T_s = | es - ei | = | 0.10 - 0 | \text{mm} = 0.10\text{mm}$。

（4）尺寸 $\phi 50$ 为未注公差尺寸，按 IT12 选取：$\phi 50^{0}_{-0.25}$mm。

（5）尺寸 82 为未注公差尺寸，按 IT12 选取：(82 ± 0.15)mm。

【实例 3-3】 求极限偏差的实例

试求 $\phi 52$F8、98g6、150N7 和 120js10 的极限偏差

解：（1）$\phi 52$F8：F 代表孔，基本尺寸 $D = \phi 52$mm，标准公差级为 IT8

1）查表 3-4：$\phi 52$F 的基本偏差是下偏差，EI = 0.030mm。

2）查表 3-2：标准公差为 IT7 = 0.046mm。

3）根据式（3-9）：ES = EI + IT = (0.030 + 0.046)mm = 0.076mm。

即：$\phi 52\text{F8} = \phi 52^{+0.076}_{+0.030}$mm。

（2）98g6：g 代表轴，基本尺寸 $d = 98$，标准公差等级为 IT6

1）查表 3-3：98g 的基本偏差是上偏差，es = −0.012mm。

2）查表 3-2：$\phi 98$g6 的标准公差为：IT6 = 0.022mm。

3）根据式（3-10）：ei = es − IT = (−0.012 − 0.022)mm = −0.034mm。

即：98f7 = $98^{-0.012}_{-0.034}$mm。

（3）150N7：N 代表孔，基本尺寸 $D = 150$mm，标准公差等级为 IT7

1）查表 3-4：150N 的基本偏差是上偏差，ES = −0.027mm + Δ

在表 3-4 中，对小于或等于 IT8 的 K、M 和 N 以及小于等于 IT7 的 P ~ ZC 的基本偏差，都要在规定的数值加上 Δ 值。

查得表内右侧所对应的值：$\Delta = 0.015$mm，故 ES = (−0.027 + 0.015)mm = −0.012mm。

2）查表 3-2：150N7 的标准公差为 IT7 = 0.040mm。

3）根据式（3-9）：EI = ES − IT = (−0.012 − 0.040)mm = −0.052mm。

即 150N7 = $150^{-0.012}_{-0.052}$mm。

（4）120js10：js 代表轴，基本尺寸 $d = 120$mm，标准公差等级为 IT10

1）查表 3-3：js 的基本偏差为 $\pm\frac{IT}{2}$，即：$es = \frac{IT}{2}$，$ei = -\frac{IT}{2}$。

2）查表 3-2：标准公差为 IT10 = 0.140mm。

3）上、下偏差分别为 $es = \frac{IT}{2} = \frac{0.140}{2} = 0.070mm$，$ei = -\frac{IT}{2} = -\frac{0.140}{2}mm = -0.070mm$。

即 120js10 = (120 ± 0.07) mm。

【实例 3-4】 有关配合的计算实例

1. 求 ϕ70H7/g6 的间隙和配合公差。

解：（1）求孔 $D = \phi70H7$ 的极限偏差

1）查表 3-4：ϕ70H 的基本偏差是下偏差，EI = 0。

2）查表 3-2：ϕ70H7 的标准公差为 IT7 = 0.03mm。

3）根据式（3-9）：ES = EI + IT = (0 + 0.03) mm = 0.03mm。

即 $\phi70H7 = \phi70^{+0.03}_{0}$。

（2）求轴 $d = \phi70g6$ 的极限偏差

1）查表 3-3：ϕ70g 的基本偏差是上偏差，es = −0.010mm。

2）查表 3-2：ϕ70g6 的标准公差为 IT6 = 0.019mm。

3）根据式（3-10）：ei = es − IT = (−0.010 − 0.019) mm = −0.029mm。

即 $\phi70g6 = \phi70^{-0.010}_{-0.029}mm$。

那么，$\phi70H7/g6 = \phi70^{+0.03}_{0}/^{-0.010}_{-0.029}mm$。

（3）求间隙

1）根据式（3-13）求最大间隙 $X_{max} = ES - ei = [0.03 - (-0.029)]mm = 0.059mm$。

2）根据式（3-14）求最小间隙 $X_{min} = EI - es = [0 - (-0.010)]mm = 0.010mm$。

（4）求配合公差　根据式（3-23）求配合公差：$T = |X_{max} - X_{min}| = |0.059 - 0.010| mm = 0.049mm$

2. 计算 $\phi110\frac{H7(^{+0.035}_{0})}{p6(^{+0.059}_{+0.037})}$的过盈和配合公差

解：（1）求过盈

1）根据式（3-17）求最大过盈量：$Y_{max} = EI - es = (0 - 0.059)mm = -0.059mm$。

2）根据式（3-18）求最小过盈量：$Y_{min} = ES - ei = (0.035 - 0.037)mm = -0.002mm$。

（2）计算配合公差　根据式（3-24）求配合公差 $T = |Y_{min} - Y_{max}| = |-0.002 - (-0.059)| mm = 0.057mm$。

3. 计算 $\phi 40\dfrac{H7\left(^{+0.025}_{0}\right)}{n6\left(^{+0.033}_{+0.017}\right)}$ 的最大间隙、最大过盈和配合公差

解： 已知 ES = 0.025mm，EI = 0，es = 0.033mm，ei = 0.017mm

（1）根据式（3-21）求最大间隙：X_{max} = ES − ei = (0.025 − 0.017) mm = 0.008mm。

（2）根据式（3-22）求最大过盈：Y_{max} = EI − es = (0 − 0.033) mm = −0.033mm。

（3）根据式（3-25）求配合公差：$T = |X_{max} - Y_{max}| = |0.008 - (-0.033)|$ mm = 0.041mm。

3.5.6 常用配合的性质和应用

常用配合的特性及应用如表 3-9 所示。

表 3-9 常用配合的特性及应用

配合	基本偏差	配合特性及应用
间隙配合	a、b	可得到特别大的间隙，应用很少
	c	可得到很大的间隙，一般适用于缓慢、松弛的动配合。用于工作条件较差（如农业机械），受力变形大，或为了便于装配，而必须保证有较大的间隙时，推荐配合为 H11/c11；其较高等级的配合，如 H8/c7 适用于轴在高温工作的紧密动配合，例如内燃机排气阀和导管
	d	配合一般用于 IT7 ~ IT11 级，适且于松的转动配合，如密封盖、滑轮、空转带轮等与轴的配合，也适用于大直径滑动轴承配合，如汽轮机、球磨机、轧滚成形和重型弯曲机及其他重型机械中的一些滑动支承
	e	多用于 IT7、IT8、IT9 级，通常适用要求有明显间隙，易于转动的支承配合，如大跨距支承、多支点支承等配合。高等级的 e 轴适用于大的、高速的、重载支承，如蜗轮发电机、大电动机的支承及内燃机主要轴承、凸轮轴支承、摇臂支承等配合
	f	多用于 IT6、IT7、IT8 级的一般转动配合。当温度影响不大时，被广泛用于普通润滑油（或润滑脂）润滑的支承，如齿轮箱、小电动机、泵等的转轴与滑动支承的配合
	g	配合间隙很小，制造成本高，除很轻负荷的精密装置外，不推荐用于转动配合。多用于 IT5、IT6、IT7 级，最适合不回转的精密滑动配合，也用于插销等定位配合。如精密连杆轴承、活塞及滑阀、连杆销等
	h	多用于 IT4 ~ IT11 级。广泛用于无相对转动的零件，作为一般的定位配合。若没有温度、变形影响，也用于精密滑动配合

（续）

配合	基本偏差	配合特性及应用
过渡配合	Js	为完全对称偏差（±IT/2），平均起来，为稍有间隙的配合，多用于 IT4～IT7 级，要求间隙比 h 轴小，并允许略有过盈的定位配合。如联轴器，可用手或木锤装配
	k	平均起来没有间隙的配合，适用于 IT4～IT7 级。推荐用于稍有过盈的定位配合。例如为了消除振动用的定位配合，一般用木锤装配
	m	平均起来具有不大过盈的过渡配合。适用 IT4～IT7 级，一般可用木锤装配，但在最大过盈时，要求相当的压入力
	n	平均过盈比 m 轴稍大，很少得到间隙，适用 IT4～IT7 级，用锤或压力机装配，通常推荐用于紧密的组件配合，H6/n5 配合时为过盈配合
过盈配合	p	与 H6 或 H7 配合时是过盈配合，与 H8 孔配合时则为过渡配合。对非铁类零件，为较轻的压入配合，当需要时易于拆卸。对钢、铸铁或铜、钢组件装配是标准压入配合
	r	对铁类零件为中等打入配合，对非铁类零件，为轻打入的配合，当需要时可以拆卸。与 H8 孔配合，直径在 100mm 以上时为过盈配合，直径小时为过渡配合
	s	用于钢和铁制零件的永久性和半永久性装配，可产生相当大的结合力。当用弹性材料，如轻合金时，配合性质与铁类零件的 P 轴相当。例如套环压装在轴上、阀座等配合。尺寸较大时，为了避免损伤配合表面，需用热胀或冷缩法装配
	t、u、v、x y、z	过盈量依次增大，一般不推荐

3.6　提高劳动生产率的途径

在保证加工质量的前提下，极大地提高劳动生产率是我们的共同愿望。一般说来，提高劳动生产率应从缩短基本时间和辅助时间等几方面入手。

3.6.1　缩短基本时间的措施

基本时间是指直接用于改变零件尺寸、形状、相对位置、表面状态以及改变材料性质（如热处理）等工艺过程所用的时间。基本时间可以是机动时间，如切除金属层所用的时间；也可以是手动时间，如采用简单工具，如锉刀等操作完成指定工作所用的时间。对于车削加工则是在操纵车床切除加工余量所用的时间。

车削加工所用基本时间的长短，由加工余量的大小来决定，又与选择合理的切削用量和切削行程的长短等因素有密切关系。

1. 合理选择加工余量

加工余量指在机械加工过程中按图样要求从加工表面切除的金属层厚度，并分为加工总余量（毛坯余量）和工序余量，加工总余量为各工序余量之和。

加工余量的选择很重要，如果选得过大，就会浪费材料，同时也加大切削量，增加了切削时间，加剧了刀具的磨损和机床功率的消耗；如果选得过小，则因不能加工成完整的零件而报废。因此，毛坯的尺寸和形状应尽可能接近零件的尺寸和形状，在保证产品质量的前提下，尽量减少加工余量，特别是铸件毛坯或锻件毛坯更应选择合理的加工余量。在批量制作毛坯件时，应力求采用精密铸造和精锻、冷挤压、粉末冶金等少、无切削工艺。

2. 尽量加大切削用量

（1）适当增大背吃刀量　增大背吃刀量 a_p 可减少进给次数，缩短了切削行程，也缩短了基本时间。背吃刀量应根据毛坯余量、工件刚度、机床刚度和功率的大小等因素进行合理选择。因此，应在工艺系统的刚度和机床额定功率允许的情况下，尽量增大背吃刀量。

（2）尽量增大进给量　增大进给量 f 也可减少每次进给行程所需要的时间，对切削力和机床功率消耗以及刀具磨损的影响较小，所以增大进给量比增大背吃刀量更为有利。但增大进给量会受到工艺系统的刚度、强度和加工精度的制约。

（3）提高切削速度　提高切削速度 v_c 可减少每次进给行程所需要的时间，在半精车和精车时，效果更为明显；但在粗车时切削速度对切削功率和刀具的寿命影响较大。所以应在机床动力等允许的范围内，并兼顾刀具经济的寿命条件下，选取最大的切削速度。

3. 及时刃磨或研磨车刀

1）认真刃磨车刀，使刀具各部保证正确的几何角度和形状，并精心研磨，使刃、棱、面均平直光滑，以保证车刀获得正常的切削状态，并提高刀具的使用寿命。

2）在切削过程中，当车刀出现磨损时，应及时刃磨或研磨，使刀具总保持最佳切削状态。俗话说：磨刀不误砍柴功。锋利的车刀，可使切削顺畅，既降低切削力，提高劳动效率，又保证产品质量。

4. 采用先进的切削技术

1）改进或采用先进的切削刀具，可明显缩短切削时间。在熟练掌握车刀刃磨的基本技能后，还应吸取先进的切削技能，对刀具的几何角度和形状进行改进，既能提高切削效率，又可延长刀具的使用寿命。

2）在可行的条件下，尽量采用多刀多刃等行之有效的切削方法。工件在一次装夹中，用多个刀具或刀具的多个切削刃同时对工件的几个表面进行切削，不仅缩短了切削的基本时间，也减少了退刀和回转刀架的辅助时间，使操作节奏紧

凑，可显著提高劳动生产率。

5. 采用自动化或半自动化机床

充分使用科技成果，尽量采用先进的机床设备。采用自动化车床，可进行一人多机同时操作，既节省了人力资源，成倍提高生产效率，又能稳定地保证产品质量。

3.6.2　缩短辅助时间的措施

为实现工艺过程所必须进行的各种辅助动作而消耗的时间，称为辅助时间。辅助时间包括工件装夹、刀具装夹、机床开、停车、变速与进刀和退刀的空行程、刀架回转以及工件测量等动作所消耗的时间。

在单件和小批量生产时，刀具刃磨、工件装夹等辅助时间往往要占 50% ~ 80% 的定额时间，即使在成批生产时，辅助时间占有的比例也很大，因此，设法缩短辅助时间也是提高劳动生产效率的重要途径。

1. 缩短工件装夹时间

在大批生产时，可采用快速或简易夹具缩短工件的装夹时间。

（1）自定心夹头　如第 4 章介绍的，当工件以外圆定位时，可采用自定心弹性夹头（图 4-12）、弹性筒夹（图 4-29），内拨动顶尖定位（图 4-20）以及 V 形块定位（图 4-17）等；当工件以内孔定位时，可采用刚性心轴（图 4-21）、自定心胀力夹头（图 4-22）、外拨动顶尖定位（图 4-23）、液塑定心夹具（图 4-30）等；当工件以中心孔定位时，可采用两端用顶尖顶或液塑拨动顶尖（图 4-31）等快速或简易夹具。

（2）不停车夹头　不停车夹头可在车床运转时装卸工件，省去了停车开车的辅助时间。不停车夹头如第 4 章图 4-32 所示。

2. 减少工件的测量时间

测量工件也需要一定的辅助时间。在大批生产时，可利用挡铁、挡片以及位移数字显示装置控制工件的直径或长度尺寸。

（1）用挡铁控制工件尺寸　在卧式车床上，常采用横向或纵向挡铁分别控制工件的直径和长度尺寸，但只能在手动进给时采用，以保证行车安全。

（2）用挡片控制工件长度　当车削长度不大的台肩和内孔时，可采用较薄的挡片控制它们的长度，如图 3-26 所示。为使挡片具有一定的弹性，挡片一般用磷铜片制作，必要时可设置弹性圆弧。这种定位形式简单易行，可用于长度精度要求不高的场合。

（3）用位移数字显示装置控制工件尺寸　位移数字显示装置通过传感器和数码管等元件，将位移参数转换成电信号，并以数字显示出来，从而自动对车刀的坐标位置进行动态测量。它不仅提高了控制精度，而且减少了停车测量工件的辅助时间。

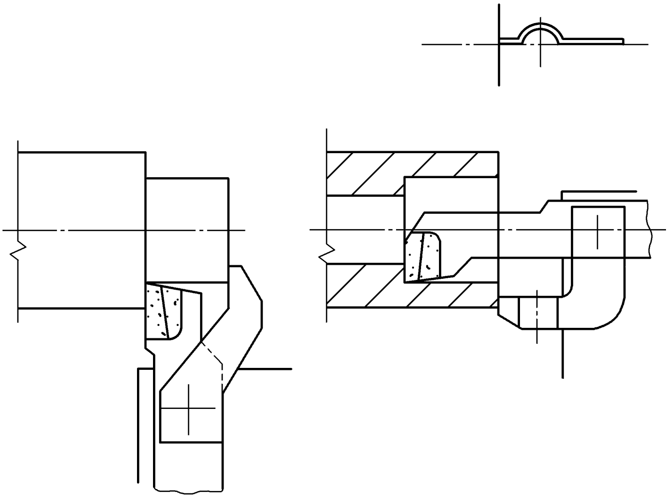


图 3-26　用挡片控制长度

3.6.3　其他

1）毛坯和零件摆放在取放方便的地方，做到文明生产。

2）工具、量具应分类摆放，整齐有序，常用工具和量具放置在易于取用的显著位置上。

3）用过的刀具经刃磨后，再分类放置在工具箱内，即做到在下次使用时，拿来即用。

4）一般车刀不应任意更改其用途，特别是各种成形刀、样板刀等应永久保留。根据以往的经验，只要看一下工具箱内车刀数量和种类的多寡，即可看到这位车工的技术水平。

这些不起眼的细微习惯和作法，却以小看大，对缩短基本时间和辅助时间产生积极影响，也是提高劳动生产效率不可或缺的。

第 4 章　工件的装夹

为了保证加工出合格的工件，应使工件在工艺系统中处于一个正确而稳定的位置，并且在切削过程中受到切削力、切削热等影响时，其位置也不会发生变化，所以应对工件进行装夹。工件的装夹包括定位和夹紧两项内容。我们把从定位到装夹的全过程称为装夹。装夹的精确程度直接影响工件的尺寸精度和位置精度，工件装夹的速度，又直接影响生产效率。

4.1　工件的定位基准

确定工件在工艺系统中某一正确位置的过程，称为定位。工件的定位是靠工件上的某些表面和夹紧装置上的定位元件相接触来实现的。

4.1.1　定位基准

机械零件由若干个表面组成，各表面之间有确定的尺寸及位置精度要求。用来确定几何要素间几何关系所依据的点、线、面就称为基准。它是标注、测量和计算尺寸的起点。根据基准的作用不同，可分为设计基准和工艺基准两大类。

（1）设计基准　在设计图样上所采用的基准即设计基准。作为设计基准的点、线、面在工件上不一定具体存在，例如孔的中心线、轴的轴心线等，而常常由某些具体表面体现出来。这些表面称为基面。

（2）工艺基准　在工艺过程中采用的基准称为工艺基准。它又分为装配基准、测量基准、定位基准和工序基准。

1）装配基准是在装配时用来确定零件或部件在产品中的相对位置所用的基准。如图 4-1 中的齿轮，以内孔 A、端面 B 及键槽 C 在轴上装配，这些表面即为齿轮的装配基准。

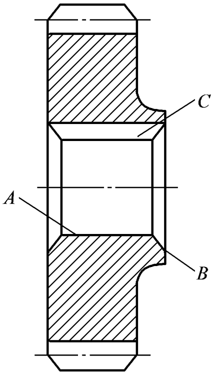


图 4-1　装配基准

2）测量基准是在测量时采用的基准。图 4-2 中的外圆 d，为测量外圆 d_1 对 d 同轴度误差的测量基准。

3）定位基准是在加工过程中用作定位的基准。如图 4-3 所示的箱体，在镗孔时，若以底面 D 及导向面

E 定位，则 *D* 面和 *E* 面与定位元件接触，它们就是镗孔时的定位基准。

4）工序基准是在工序图上用来确定本工序所加工后的表面的尺寸、形状、位置的基准。

4.1.2 定位基准的选择

在切削加工工件时，合理选择定位基准对于保证工件的尺寸和相互位置精度起着决定性作用。定位基准一旦确定，零件其他部分的位置也随之确定。工件在定位时，作为定位基准的点和线，往往由某些具体面体现出来，这些表面称为定位基准面。如用两顶尖装夹的工件，工件两端的中心孔是定位基准面，定位基准是轴心线。

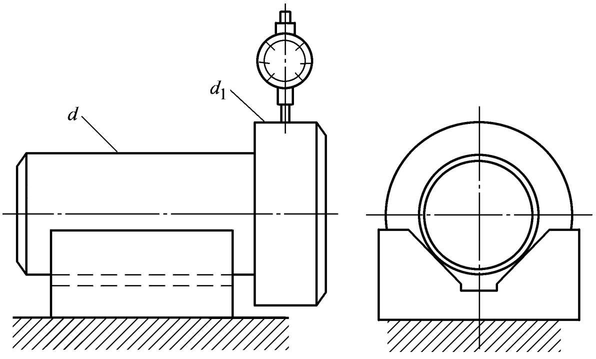


图 4-2 测量基准

定位基准分粗基准、精基准和辅助基准等。

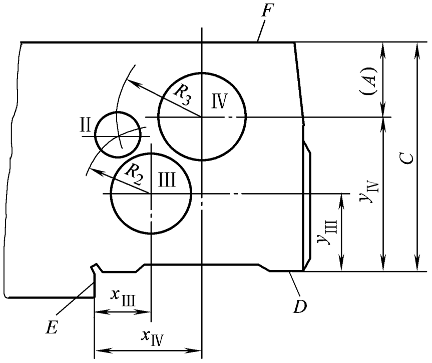


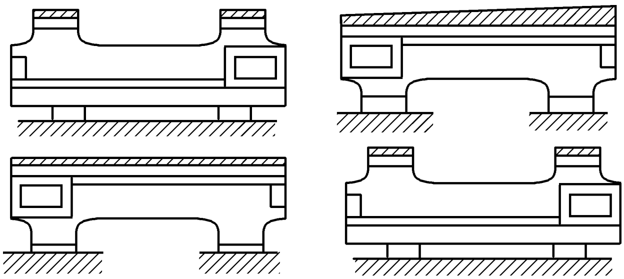
图 4-3 主轴箱箱体的设计基准

（1）粗基准 当毛坯进入切削加工的第一道工序时，只能用毛坯上未经加工的某一表面作为定位基准，称为粗基准定位，即粗基准。

在选择粗基准时，应达到以下几个基本要求：首先应保证所有加工表面都能分配到合理的加工余量；其次应保证加工表面和不加工表面之间具有必要的相互位置精度要求，同时还应为后续工序提供可靠的精基准。一般情况下，粗基准的选择原则是：

1）所有表面都要加工的工件，必须保证重要表面的加工余量或使余量均匀，应首先选择重要表面为粗基准。如图 4-4 所示的床身，因为床身的导轨面要求强度和硬度高而均匀，所以应采用图 4-4a 的加工方案，先以导轨面作为粗基准，加工床腿底平面，再以床腿底平面作为精基准，加工导轨面。这样，导轨表面只切去薄薄的一层金属，使导轨表面层保留铸造时形成的细密均匀的金相组织和均匀一致的

物理力学性能。图 4-4b 的方案导致重要表面的加工余量不均匀等缺陷。



a)　　　　　b)

图 4-4　床身加工粗基准两种方案比较

a）正确　b）错误

同时，当工件上每个表面都要加工时，应以余量最小的表面作为粗基准，以保证各个表面都有合理的加工余量。

2）加工表面与不加工表面有位置精度要求时，则应选择不加工表面作为粗基准，以达到壁厚均匀、外形对称等要求。若有好几个不加工表面，则应选择位置要求较好的表面为粗基准。外圆不需加工的筒形铸件，为保证筒壁均匀，应选择外圆作为粗基准，找正后加工内孔，保证了设计要求。

3）应选用强度和刚度较好、平整光洁、有足够的面积和易于定位的工件表面作为粗基准，使工件定位稳定，夹紧可靠，防止工件松动或夹坏。

4）粗基准不能重复使用。由于粗基准定位精度低，在同一尺寸方向上通常只允许使用一次，以后工序应选择精基准定位。

（2）精基准　由经过加工的表面作定位基准，称为精基准定位，即精基准。在机械加工过程中，除起始工序采用粗基准外，一般都是以精基准定位。精基准的选择应从减少定位误差、保证工件加工精度出发，同时考虑装夹方便、降低成本。选择精基准时，一般应遵循以下原则：

1）基准重合原则。为了较容易地保证加工表面对其设计基准的相对位置精度要求，应尽量选用设计基准作为定位基准，称为基准重合原则。这样可以避免因基准不重合引起的定位误差。特别是重要零件的最后精加工工序，更应遵循这一原则。如车床主轴锥孔最后的加工工序应选择支承轴颈定位。

2）基准统一原则。当零件以某一组精基准定位能比较方便地加工其他各表面时，尽可能在多数工序中采用这一组精基准定位，称为基准统一原则。采用这一原则，可保证各加工表面的相互位置精度，避免基准转换产生的误差，简化了夹具的设计和制造，降低了生产成本。如轴类工件的大多数工序都是以顶尖孔作为定位基准；齿轮的加工也多采用齿轮的内孔及基准端面为定位基准。

3）自为基准原则。当零件在精加工或光整加工时，要求加工余量尽可能的

小而均匀时，可选用加工表面本身作为定位基准，即自为基准原则。如在导轨磨床上磨削床身导轨时，为了保证导轨面上耐磨层的一定厚度和均匀性，就是用导轨面本身作为定位基准，用百分表找平导轨上的表面，安装后进行磨削。此外，铰孔、珩磨、刮研、浮动镗孔以及无心磨床磨削外圆表面等，都是以加工表面本身作为定位基准的实例。

但是，采用自为基准原则加工时，只能提高加工表面本身的尺寸精度和形状精度，而不能改变加工表面的位置精度。

4）互为基准原则。有些精密零件为了获得均匀的加工余量和较高的位置精度，有时可采用互为基准、反复加工的原则。例如，在加工精密齿轮时，先以内孔定位加工出齿形面，在齿面淬硬后再进行磨齿。但当齿圈进行高频淬火时，淬火变形可能造成齿圈对内孔的同轴度误差。若仍以内孔定位磨齿，变形的误差将导致磨削余量不均匀，由于齿面淬硬层较薄，可能将某处的淬硬层磨去，而有些地方磨不到，从而影响加工质量。要使磨削量小而均匀，应以齿圈为基准，先磨内孔（图 4-5），再以内孔为基准磨齿面，使内孔、齿圈互为基准，反复加工。

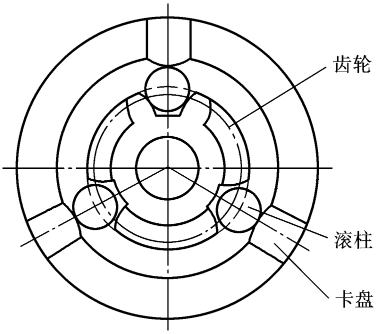


图 4-5　互为基准实例

此外，选择的精基面还应使工件定位准确、夹紧稳定可靠，并操作方便，降低成本。因此，精基面应具有足够的面积和强度。

需要指出的是，上述选择精基准的几项原则，有时是互相矛盾的。例如，保证了基准统一就不一定符合基准重合，选择了互为基准原则就与基准统一原则相违。因此，在运用这些原则时，要根据具体问题，从技术和经济等几个方面进行综合分析，抓住主要矛盾，合理选择。

（3）辅助基准　工件在精定位时，为了保证加工表面的位置精度，应优先选择设计基准或装配基准作为主要定位基准，这些基准一般是零件上具有较高精度要求的重要工作表面。如果工件上缺乏合适的定位基面，或为了定位稳定、基准统一或操作方便，人为地制造或设置专供定位使用的基面，称为辅助基准。如图 4-6 所示的工件上设置的工艺凸台，以及轴类零件在加工时所

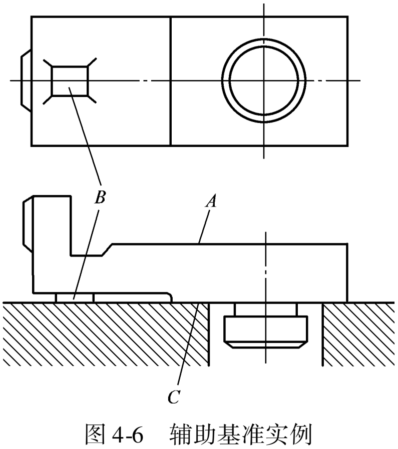


图 4-6　辅助基准实例

A—加工面　*B*—工艺凸台　*C*—定位面

用的中心孔等，它们在使用时不起作用，只为满足加工工艺需要设置的，工序完成后有时还得去掉。再如，丝杠的外圆表面，从螺纹副的传动结构来看，是非配合的次要表面，但在丝杠加工过程中，外圆表面是车削螺纹的导向基面，是辅助定位基准，它的圆度和圆柱度误差直接影响螺纹的加工精度，所以只有提高丝杠外圆的形状精度，并减小其表面粗糙度值，才能保证丝杠的加工质量。

4.2　定位原理

工件上用于定位的表面就是确定工件位置的基准，称为定位基准。工件在机床或夹具中的定位，可采用类似确定刚体在空间直角坐标系中位置的方法加以分析。

4.2.1　六点定位原理

由理论力学的概念可知：在空间处于自由状态的刚体（工件），在空间直角坐标系中有六个自由度，如图 4-7 所示：即沿着三个相互垂直的坐标轴移动，分别用 $\widehat{X}$、$\widehat{Y}$、$\widehat{Z}$ 表示。这样，工件在这六个自由度方向上的位置就没有被确定。

因此，工件要正确定位，必须消除这六个自由度。限制工件自由度的典型方法，就是在空间合理地分布六个等高的支承点。如图 4-8 所示，在空间坐标系的 OXY 平面上设置三个支承点 1、2、3，使工件的底面紧贴在这三个支承点上，限制了 $\widehat{Z}$、$\widehat{X}$、$\widehat{Y}$ 三个自由度；在 OYZ 平面上设置两个支承点 4、5，使工件左侧面紧贴在这两个支承点上，限制了 $\vec{X}$、$\widehat{Z}$ 两个自由度；在 OXZ 平面上设置一个支承点 6，使工件后面紧贴在这一点上，限制了 Y 一个自由度。这种用合理分布的六个支承点限制工件六个自由度的方法，称为六点定位原理。

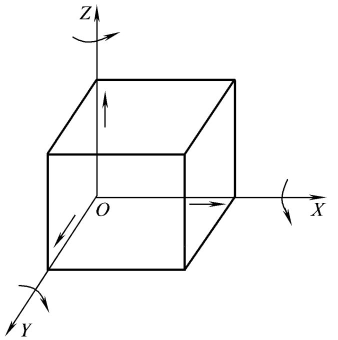


图 4-7　物体在空间的六个自由度

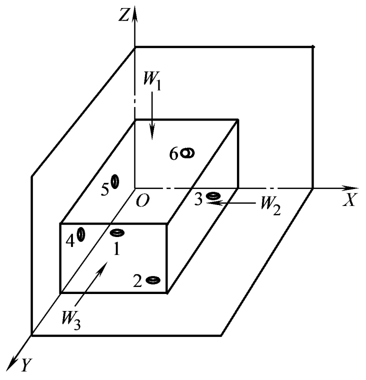


图 4-8　工件的六个定位点

为增强工件定位的稳定性，一般以面积较大的一面作为主要定位基准，如图中的工件底面。在底面设置了三个支承点，必须呈三角形分布，它们联接起来所形成的三角形面积越大，支承力越稳定，就越容易保证各表面间的位置精度。同时，主要定位基准通常要承受较大的外力，如夹紧力、切削力等。所以在实践中，往往以平整的基平面代替这三个支承点。

在工件左侧面设置的两个支承点 4、5 两点的连线不能与主要定位基准面垂直，而跨度应尽量地大；在工件后侧的支承点 6 也应设置在侧面的中心，才能保证定位的稳定性。

4. 2. 2 定位方式的分类

工件在实际加工中的定位，有时并不一定要求限制所有的自由度，一般需要限制的数目由工件的形状和在这道工序中的加工要求决定。按照限制自由度数目的不同，定位方式可分为以下几类：

（1）完全定位　工件的六个自由度全部被限制的定位状态，称为完全定位。如图 4-8 所示的工件，重力 W_1、侧压力 W_2、W_3 使工件紧贴在直角坐标系的三个平面上，限制了工件的六个自由度，实现完全定位。当工件在三个坐标方向上均有尺寸或位置精度时，采用这种定位方式。

（2）不完全定位　不完全定位是指工件在定位时，若六个自由度没有被完全限制的定位状态。如图 4-9 所示的轴类工件，由于切削的长度较短，所以在车削外圆时，不必限制沿 X 轴方向自由度 $\vec{X}$ 和绕 X 轴转动的自由度 $\widehat{X}$，用自定心卡盘，采用四点定位即可满足加工要求。再如，车削模板两端面并保证厚度，只需限制 $\vec{Z}$、$\widehat{X}$、$\widehat{Y}$ 三个自由度就能保证加工要求。

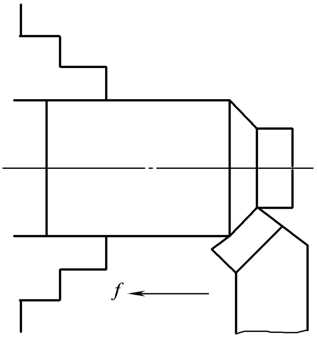
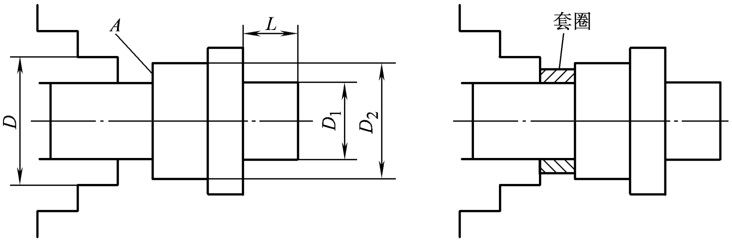


图 4-9　工件的不完全定位

采用不完全定位可简化定位装置，因此，在满足加工要求的前提下，不需要采用完全定位是允许的。

（3）欠定位　工件在定位时，若定位的实际支承点数目少于理论上应予限制的自由度数目（即工件定位不足）的定位状态，称为欠定位。欠定位不能保证质量，因此是绝对不允许的。如图 4-10 所示为欠定位实例和改进方案。图 4-10a 的短轴工件要求保证端轴的长度 L 和 D_1 与 D_2 的同轴精度（必须同工序加工）。由于 D_2 尺寸小于卡盘爪前端外廓直径 D，D_2 的左端面 A 不能在卡爪端面定位，因此不能保证尺寸 L。改进方案如图 4-10b 所示，在左端加一套圈，使 A 面紧靠卡爪前端定位，即可满足加工要求。

（4）过定位　工件在定位时，若几个定位支承点重复限制同一个或几个自由度的定位状态，称为过定位，又称重复定位。在一般情况下，当工件以形状精度和位置精度很低的毛坯表面作为粗定位基准时，是不允许出现过定位的。但过定位若使用得当，则可起到增加刚度和定位稳定的作用。

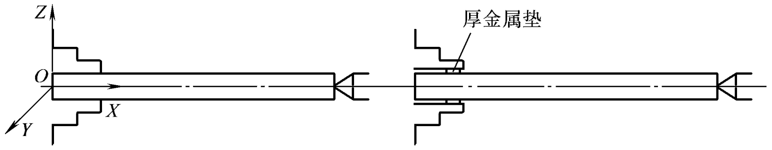


a)　　b)

图 4-10　欠定位实例及改进方案

a）实例　b）改进方案

如图 4-11 所示，用一夹一顶装夹轴类工件，当卡盘夹持部分较长时，相当于四个支承点，限制了 $\vec{Y}$、$\widehat{Y}$、$\vec{Z}$、$\widehat{Z}$ 四个自由度，后顶尖相当于两个支承点，限制了 $\widehat{Y}$ 和 $\widehat{Z}$ 两个自由度，$\widehat{Y}$ 和 $\widehat{Z}$ 被重复限制，如图 4-11a 所示。因此，当卡盘夹紧后，工件前端往往偏离后顶尖，如果强制顶住，会引起工件变形。改进的方案，一是缩短卡盘夹持部分的长度，二是在被夹持处垫上一条较厚的金属垫，如图 4-11b 所示。这样在卡盘夹持一端时，只限制了 $\vec{Y}$、$\vec{Z}$ 两个自由度，消除了对 $\widehat{Y}$、$\widehat{Z}$ 的限制，工件前端可以夹持点为原点，上、下、左、右自由摆动。



a)　　b)

图 4-11　过定位实例及改进方案

a）实例　b）改进方案

过定位除了会引起工件的变形外，还使工件的定位不稳定，破坏一批工件位置的一致性。为减少或消除因过定位引起的干涉，通常采用以下措施：

1）改变定位元件的结构。

2）撤销重复限制自由度的定位元件。

3）提高工件定位基准面及定位元件工作面之间的位置精度。

4.3 车削工件的定位

车床上加工的工件，多呈回转体形状，所以车削工件常用的定位基准多为外圆或内孔，有些铸、锻件，则往往以平面作为定位基准。

4.3.1 工件以外圆柱面定位

工件以外圆柱面定位，常采用以下的定位方法：

(1) 自定心定位　常用的有三爪自定心卡盘。它既有定位功能，又可夹紧工件。图 4-12 所示为自定心弹性夹头。在夹头圆周均布三个根部相连的窄槽，使各部都具有均匀的弹性。紧固背帽，内圆锥面迫使夹头收缩，使工件以外表面定位并夹紧。在螺纹前后端分别设置了导向面，以控制背帽内圆锥面的移动精度。这种定心夹紧装置结构简单，使用方便，定位轴直径的一般误差对定位精度的影响很小。只是应根据工件名义尺寸的变化，更换夹头。多用于直径较小的工件。

轴类工件则用双顶尖定心。

(2) V 形块定位　用 V 形块定位的一个特点是，不论定位基准是否经过加工，只要是完整圆柱面或是局部的圆弧面，都可以采用 V 形块定位。另一特点是对中性好，即工件上定位用的外圆柱面轴线不受定位基准直径误差的影响，始终处于 V 形块两斜面的对称面上，即工件圆的轴线与 V 形块两斜面的对称轴线始终重合，使之引起工件的轴线位置沿对称面上、下移动。如图 4-13 所示，V 形块的夹角一般为 $\alpha=90°$，设定位圆半径由 $r_1=25\text{mm}$ 减少到 $r_2=24.8\text{mm}$，观察工件轴线位置的变化。分别作 r_1、r_2 的圆心 O_1、O_2 对 V 形块斜面的垂线 O_1A、O_2B，作 O_2 对 O_1A 的垂线 O_2C，则 $AC=BO_2$，$O_1C=O_1A-O_2B$。

在直角等腰三角形 O_1O_2C 中，$O_1O_2=\sqrt{2}O_1C=\sqrt{2}(O_1A-O_2B)=\sqrt{2}(r_1-r_2)$

因为
$$h=O_1O_2$$

所以
$$h=\sqrt{2}(r_1-r_2)$$

那么，定位圆半径由 $r_1=25\text{mm}$ 减少到 $r_2=24.8\text{mm}$ 时，工件轴线位置的变化量 h 为

$$h=\sqrt{2}(r_1-r_2)=\sqrt{2}(25-24.8)\text{mm}=0.283\text{mm}$$

即工件轴线位置只沿 V 形块斜面的对称轴线 EF 上下变化，其下移量为 0.283mm。所以，对加工表面与外圆轴线有对称度要求的工件，往往采用 V 形块定位。

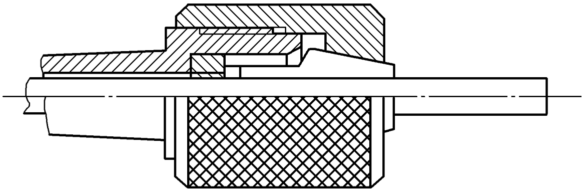


图 4-12　自定心弹性夹头

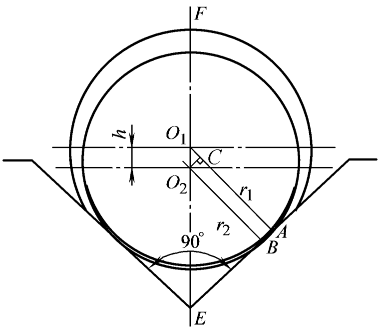


图 4-13　定位直径变化对工件轴线位置的影响

根据定位表面的轴向长度，V 形块常用的结构形式如图 4-14 所示。图 4-14a 是用于精基准定位的短 V 形块，它仅限制工件的两个自由度；图 4-14b 是用于较长或相距较远的两个定位面的长 V 形块，可限制工件的四个自由度；图 4-14c 是在铸铁底座上镶嵌硬度较高的支承板，多用在大型工件上，以便于加工和维修。

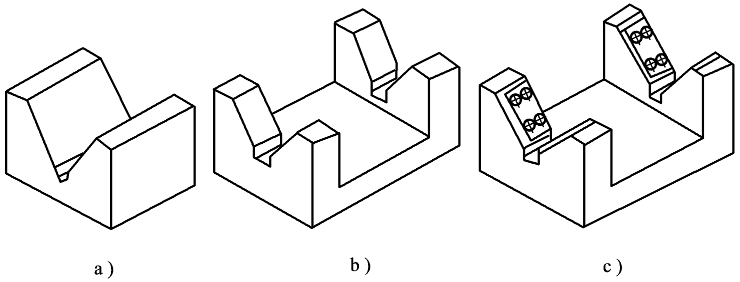


图 4-14　V 形块的结构形式

a）短 V 形块　b）长 V 形块　c）支承板

V 形块的使用方法大体有如下几种：

1）用四爪单动卡盘夹持。将 V 形块放置在四爪单动卡盘上找正，用相邻的三个支承爪夹紧，另一个支承爪夹紧工件，如图 4-15 所示。它多用于较小的工件。为保证 V 形块的稳定位置，必要时，可对底爪进行加固。

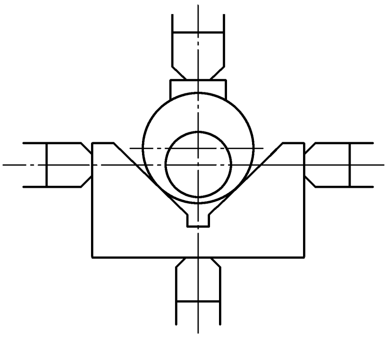


图 4-15　用四爪单动卡盘夹持

2）安置在花盘或弯板上，如图 4-16 所示。定位表面的轴线长度较短时，可采用图 4-16a 的方法，将 V 形块直接固定在车床的

花盘上；较长时，可采用图4-16b的方法，将弯板固定在花盘上，再将V形块固定在弯板上，找正后夹紧。

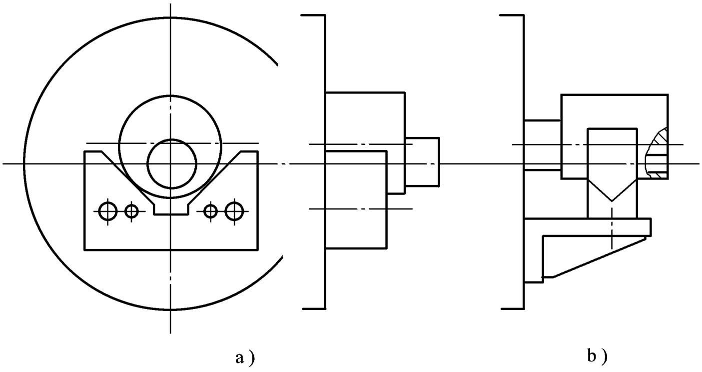


图4-16　安置在花盘或弯板上
a）安置在花盘上　b）安置在弯板上

3）活动式V形块。V形块有固定式和活动式。如图4-17所示为双孔连杆的夹具，下端为固定式V形块，一般用几个螺钉和两个定位销固定在夹具体上，上端为活动式V形块，它既限制工件转动的自由度，又在工件的对中状态下夹紧。可将它放置在花盘上使用。

（3）定位套定位　用定位套定位常用的方法如图4-18所示，工件的外表面与定位套之间有较小的间隙。图4-18a为短圆柱套定位，限制两个自由度，工件台阶端面限制三个自由度；图4-18b为长圆柱套定位，限制四个自由度，工件台阶端面限制一个自由度，为保证定位的稳定性，一般将定位套孔的中间设置空刀，形成分布于两端的两个环形接触带。

当车削不便于轴向装夹的大型工件时，可采用半圆套的定位装置。如图4-19所示，下半圆套是定位元件，上半圆套可以开合，起夹紧作用。将夹具固定在弯板上，在装卸工件时，打开上半圆套。

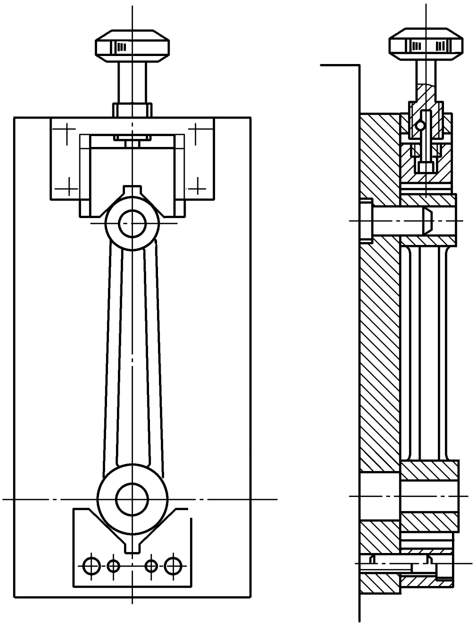


图4-17　活动式V形块

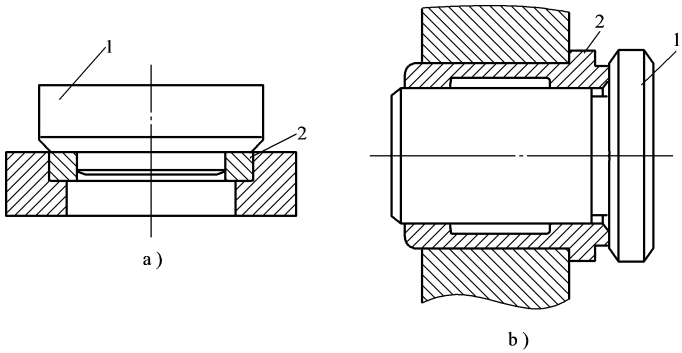


图 4-18　定位套定位
a）短圆柱套定位　b）长圆柱套定位
1—工件　2—定位套

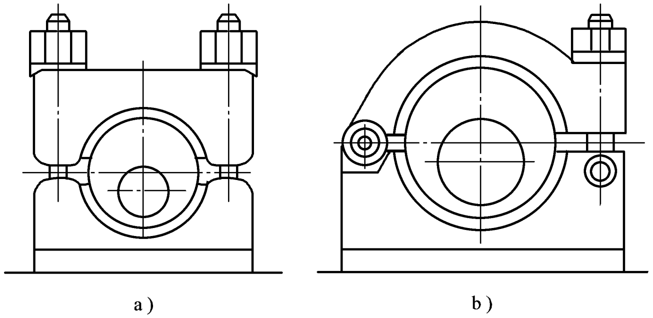


图 4-19　半圆套定位装置

定位套定位结构简单，容易制造，但定位精度不高，一般情况下定位套的最小内径应取工件定位基面的最大值，工件定位基面也应不低于 IT8 ~ IT9，多用于一般的精基准定位。

有时也可采用开口的定位套定位，其加工精度受工件定位面直径变化的影响较小，只要夹紧的精度较高，即可满足加工要求。

（4）内拨动顶尖定位　在车削轴类工件时，可利用轴端的圆柱面在内拨动顶尖的圆锥孔中定位，俗称梅花锥孔，如图 4-20 所示。圆锥孔中设有齿纹，在尾座顶尖力的作用下，工件轴头嵌入齿纹，拨动工件旋转。圆锥角一般为 60° ~ 90°，锥部硬度为 55 ~ 60HRC。

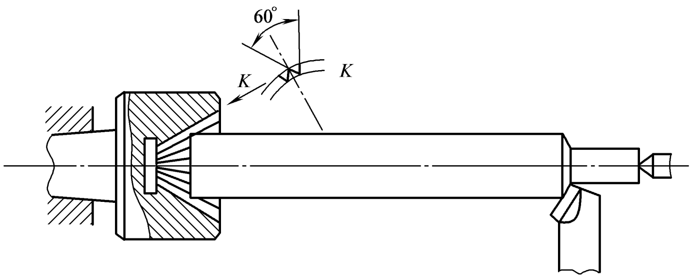
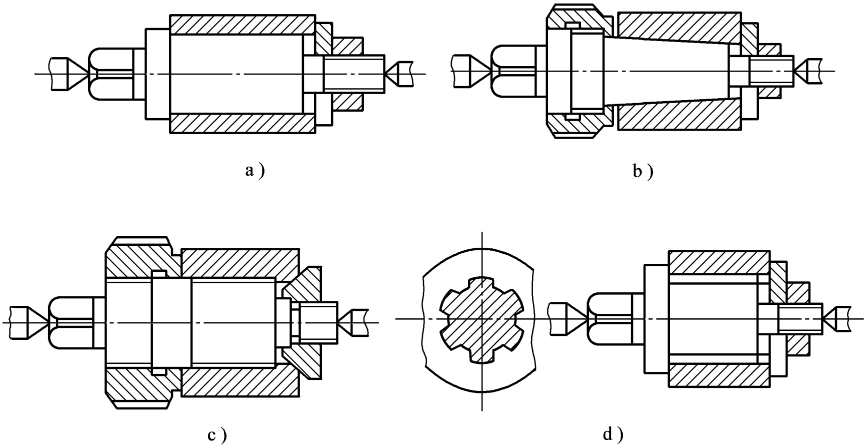


图 4-20　内拨动顶尖定位

4.3.2　工件以内孔定位

工件内孔表面定位时，常采用以下定位方法：

（1）刚性心轴定位　刚性心轴的定位形式如图 4-21 所示。图 4-21a 为间隙配合定位心轴，心轴轴肩作水平面定位，限制一个自由度，为避免过定位，应尽量减小轴间的直径。工件采用开口的垫圈和螺母作轴向夹紧，以便于装卸。当定位孔直径较大时，为消除工件端面对孔的垂直度误差，可采用球形垫圈。心轴直径与工件孔一般采用 H7/h6、H7/g6 或 H7/f7 间隙配合。为了减少因配合间隙造成工件的定位倾斜，要求工件的定位孔与定位端面之间、心轴的定位圆柱面与轴肩端面之间，都应有较高的垂直度。



a）　b）　c）　d）

图 4-21　刚性心轴的定位形式

a）间隙配合　b）圆锥孔　c）内螺纹　d）花键孔

间隙配合的定位心轴制造简单，工件装卸方便，但由于配合间隙的影响，定位精度不高，容易产生同轴度误差。

圆锥孔的定位形式如图 4-21b 所示。当圆锥度较小时，可依靠锥度的自锁力

定位，加工完成后，采用后螺母的螺旋力，克服工件对心轴的包紧力，卸下工件；当圆锥度较大时，为了保证定位的稳定，也应采用前螺母作轴向夹紧。

内螺纹的定位心轴如图 4-21c 所示。为了消除螺纹误差的影响，在心轴的前后都设置了精度较高的定位台肩，使螺纹和锥形垫圈的定位孔同心，以保证内螺纹定位的准确性；为便于卸下工件，在心轴尾部设置螺纹方向与工件相反的后螺母，加工完成后，用扳手使其后退，即可将工件松动卸下。

图 4-21d 为花键孔的定位心轴。花键心轴的设计应根据花键孔是用外径、内径或侧面定心的要求来确定配合面的部位。为便于安装，花键心轴工作部分的前端可稍带锥度。

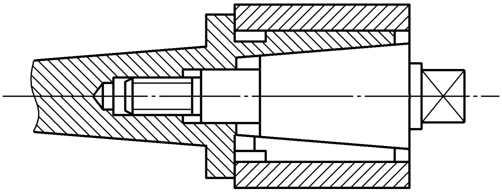


图 4-22　自定心胀力夹头

在特殊情况下，刚性心轴也可采用过盈配合的定位心轴，或微锥度定位心轴等。对于小孔的定位，则采用头部带有锥度的圆柱销定位。

（2）胀力夹头定位　直径较大的工件，往往采用图 4-22 的自定心胀力夹头。它的结构特点是将夹头对称铣通窄槽后形成弹性，在圆锥体轴向外力作用下，夹头外径均匀胀大，使工件以内孔表面定位并夹紧。为保证外圆锥体的移动精度，在外螺纹根部设置导向直径。

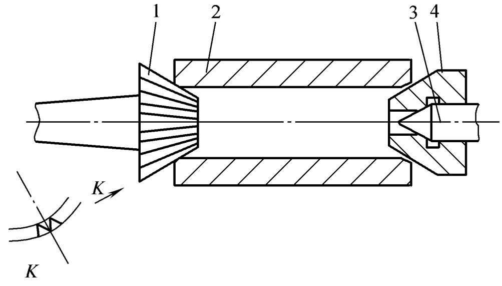


图 4-23　外拨动顶尖定位

1—外拨动顶尖　2—工件　3—活顶尖　4—盘形顶套

胀力夹头定心夹紧装置结构简单，使用方便，定位孔直径的微小变化对定位精度的影响很小。但它是专用夹头，只供一种规格的工件使用。

（3）外拨动顶尖定位　长轴类工件，可采用外拨动顶尖 1 的梅花锥堵顶住内孔的导入端。如果孔径较大，可将盘形顶套套装在活顶尖 3 的头部，在尾座顶尖力的轴向作用下，使孔沿嵌入梅花锥堵的齿纹，拨动工件 2 旋转，如图 4-23 所示。

4.3.3　工件以平面定位

在机械加工过程中，工件以平面作为定位基准，是常见的定位方式之一，如箱体、机座、支架和板状类零件等。其所用的定位元件应根据定位面的表面状态而定。

（1）毛坯表面　在对铸、锻后的毛坯表面进行粗基准定位时，常采用图 4-

24所示的定位元件定位。其中图4-24a、b分别为圆头和尖头支承钉，它们与工件接触面较小，定位稳定，但易于磨损。图4-24c为网纹顶面支承钉，可增大与工件的摩擦力。图4-24d、e为可调支承，作为主要定位元件的辅助支承。当毛坯面的尺寸及形状不稳定时，可调节某个支承的高度，使工件取得合适的位置，以便于合理地分配各表面的加工余量和保证装夹的刚度和稳定性。调节合适后用螺母锁紧。

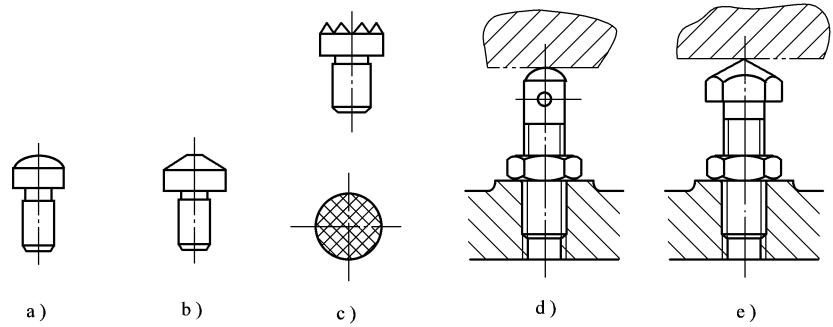


图4-24　毛坯平面定位用支承钉
a)、b) 圆头和尖头支承钉　c) 网纹顶面支承钉
d)、e) 可调支承

图4-25为管接头密封夹箍的加工定位状况，工件是铸造成形，工序内容是车端面、内孔和密封槽。如采用图4-25a的形式定位，在工件放入V形块时，两侧的支承钉就可能产生过定位或欠定位的现象。如采用图4-25b的定位形式，通过可调支承，用以调整与工件的接触状况，即增加了工件的装夹刚性，又可避免过定位等现象的发生。

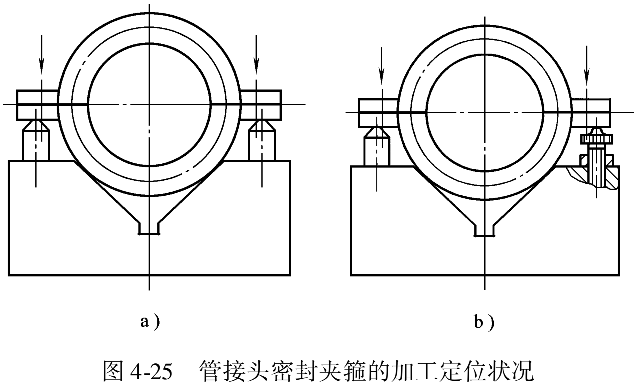


图4-25　管接头密封夹箍的加工定位状况
a) 形式1　b) 形式2

同时应当注意，只有当工件被基本定位后，才能允许可调支承参与工作，而且，在调节可调支承时，应顶力得当，防止产生过定位等现象。

（2）已加工平面　在用已加工平面定位时，可采用多个等高的平头支承钉或支承板，以增加工件的装夹刚度。但在很多场合，多采用较大的连续平面对工件的平面定位，如夹具体平面、花盘和弯板平面等。它们比支承钉、支承板定位的稳定性和装夹刚度更好。

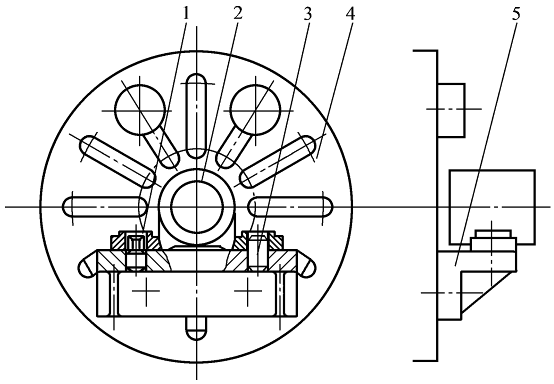


图 4-26　一面两销的轴承座定位方式
1—菱形销　2—工件　3—圆柱销
4—花盘　5—弯板

通常，在采用已加工平面定位时，还与其他定位元件配合，实现完全定位。如图 4-26 所示为轴承座的定位形式，即采用平面定位和圆柱销等组合定位方式。工件底平面座落在弯板 5 的垂直平面上，限制了三个自由度，圆柱销 3 限制两个自由度，余下的绕圆柱销 3 轴线转动的自由度由菱形销 1 限制，以避免产生过定位。这种定位方式称为一面两销定位，与此相反的还有两面一销定位等。

4.4　车削工件的夹紧

工件定位后将其紧固，使其在加工过程中，在切削力、重力、离心力、惯性力等作用下不发生振动和位移，仍保持确定的位置不变的操作，称为夹紧，把工件压紧夹牢的机构叫夹紧装置。

4.4.1　夹紧装置的组成

根据工件的结构特点，夹紧装置的结构形式多种多样，一般由以下几部分组成：

（1）动力源　即产生原始夹紧力的部分。如用人的体力对工件进行夹紧，称为手动夹紧；若动力来自于机械或电力的，如气压、液压、真空以及电力（电动、电磁）进行夹紧时，则称为机动夹紧。

（2）夹紧元件　直接与工件接触的元件，是夹紧装置的最终执行元件，如各种螺钉、垫圈、弹性筒夹以及压板等。

（3）中间传力机构　即把动力源产生的力传递给夹紧元件的机构，如常用

的杠杆、铰链、斜楔等机构。根据动力源的不同和夹紧的实际需要，中间传力机构在传递夹紧力的过程中，一般可起到如下作用：

1）改变夹紧力的方向。

2）改变夹紧力的大小。

3）具有必要的自锁性能，以保证夹紧的可靠性，这对手动夹紧尤为重要。

上述前两部分不管结构形式如何，都是必不可少的。至于中间传力机构则根据实际需要可简可繁，当由动力源直接控制夹紧元件时，则无中间传力机构。

4.4.2　夹紧装置的技术要求

夹紧装置是否合理适用，对保证加工精度、提高生产效率、减轻工人劳动强度有直接关系。因此，对夹紧装置的技术要求是：

1）在夹紧过程中，应能保证工件定位后所获得的正确位置不会改变。

2）工件在夹紧后的变形和受压表面的损伤不应超出允许范围。

3）夹紧力的大小，应能保证加工过程中，工件不发生变形或位置变动，并能在一定范围内调节。

4）手动夹紧时，应具有自锁性能。

5）在保证加工精度的前提下，夹紧装置应力求简单、紧凑，制造、维护方便，并有足够的强度和刚度。

6）夹紧装置的最大旋转半径应小于车床主轴中心高度。

7）夹紧装置应动作灵活、使用方便，省力、省时、安全可靠，以减轻劳动强度，提高劳动生产效率。

8）夹紧装置在必要时应加设平衡配重，以防止在旋转时的不平衡，产生的离心力影响工件加工精度和机床寿命。

4.4.3　夹紧力的确定

应根据工件的结构特点、加工内容和要求、定位元件的结构和布置方式，并结合工件在加工时的受力状况等综合因素，合理地确定夹紧力的方向、作用点和大小。

（1）夹紧力的方向　夹紧力的方向主要与工件定位基准的配置以及工件所受外力的作用方向等有关。夹紧力方向的确定原则是：

1）夹紧力的方向应垂直于主要定位基准面。通常，工件的主要定位基准面的面积和静态摩擦力较大，精度较高，限制的自由度较多，从而垂直方向的夹紧力所引起的单位面积上的变形程度较小，定位也比较稳定，易于保证加工质量。

图 4-27 为在弯板支承上车孔，要求保证内孔中心线与底面平行，在调节弯板支承面与车床溜板移动的平行度后，将工件底面作为主要定位基准面定位，夹紧力 F_w 垂直作用于此面上，可保证工件的正确位置。

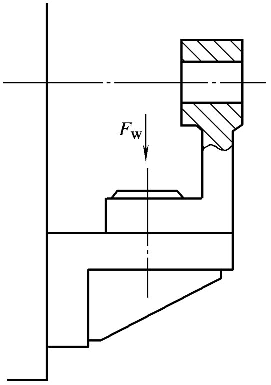


图 4-27　夹紧力方向应垂直于主要定位基准面

2）夹紧力的方向应尽量与工件刚度最大的方向相一致，以减小工件变形。有时工件的刚度在不同的方向上是不同的，如图 4-28 所示为薄壁套筒在精车内孔时的夹紧力方向，若如图 4-28a 所示，采用三爪自定心卡盘夹紧，由于它的径向刚性较差，夹紧时极易变形。由于工件的轴向台肩刚性较好，采用图 4-28b 的夹紧形式，以工件外圆和台肩作为定位基准，夹紧力 F_w 作用在台肩端面上，可避免薄壁筒的变形，内孔的尺寸精度和形状精度也得到保证。

3）夹紧力的方向应尽量与切削力和工件重力的方向一致。当夹紧力与切削力和零件自身重力方向均相同时，加工过程中所需要的夹紧力最小，从而简化结构和便于操作。

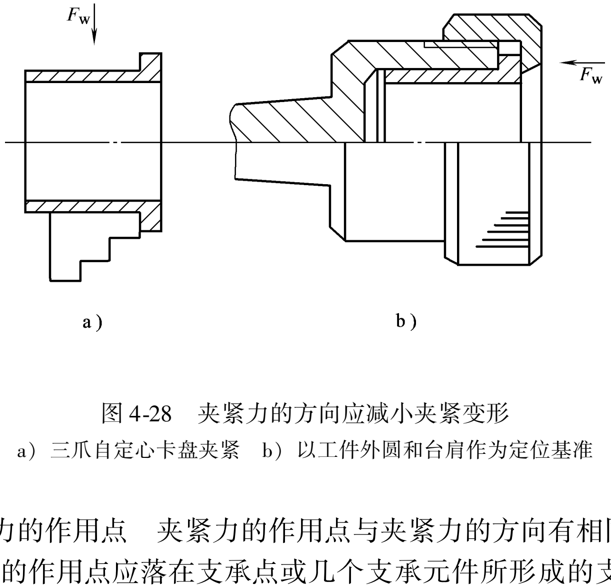


图 4-28　夹紧力的方向应减小夹紧变形

a）三爪自定心卡盘夹紧　b）以工件外圆和台肩作为定位基准

（2）夹紧力的作用点　夹紧力的作用点与夹紧力的方向有相同之处。

1）夹紧力的作用点应落在支承点或几个支承元件所形成的支承区域内，有时可与夹紧力的方向重合，以保证在夹紧时不引起工件产生位移或偏转，保持工件定位稳定。

2）夹紧力的作用点应落在工件刚度最好的部位，以减小工件的夹紧变形。

3）夹紧力的作用点应尽量靠近切削部位，以减小切削力对工件造成的翻转力矩，提高夹紧力的可靠性；若切削部位刚度不足，可采用辅助支承。

（3）夹紧力的大小　在加工过程中，工件受到切削力、重力、离心力、惯性力的综合作用下，会引起工件的位移和振动。为保持正确的定位位置不变，夹紧力的大小应与这些力或力矩的大小相平衡，即夹紧力的大小必须适当。夹紧力过小，难以保证在加工过程中工件定位的稳定性，可引起工件位置的变动，不仅影响加工质量，还可能造成安全事故；夹紧力过大，会引起工件和工艺系统的变形，也会影响产品质量。

夹紧力的大小除了受切削力等外力的直接影响外，还与工艺系统的刚度、加工余量不均匀以及刀具锐钝状况对切削力的影响有关，因此夹紧力的计算是一个十分复杂的问题，通常只能在静态下利用力学原理并考虑各种因素，对夹紧力的大小进行粗略估算。

有时为增加工件表面与支承面或夹紧面的摩擦因数，往往将支承面或夹紧元件的夹紧表面设置一些沟槽或网纹，以增强阻尼作用。

4.5　车削工件的装夹

工件装夹的方法很多，有采用三爪自定心卡盘或四爪单动卡盘装夹的，有采用花盘和弯板装夹的，还有采用专用夹具装夹的。专用夹具就其结构分类，基本上可分为螺旋装夹、斜楔装夹和偏心装夹等。由于车削的工件多为回转体，现仅就在车削加工中常见的几种类型工件的装夹方法作简单介绍。

4.5.1　弹性筒夹定心装夹

定心装夹机构是一种可同时实现对工件定心、定位和夹紧的装夹机构。例如，采用三爪自定心卡盘装夹工件外圆或较大的内孔，采用前后顶尖或梅花锥孔、梅花锥堵装夹轴、套类工件，以及采用 V 形块装夹工件等通用定心装夹方法。

除此以外，还有专用定心装夹夹具，如图 4-29 所示为弹性筒夹定心装夹装置。图 4-29a 为以外圆柱面定位的定心装夹机构，弹性筒夹 3 以夹具体 1 的内孔导向，旋转螺母 4，在端面轴向力作用下，推动弹性筒夹 3 向左移动，夹具体 1 端面的内锥孔迫使弹性筒夹 3 上分布均匀的三个簧瓣同步向心收缩，从而将工件 2 定心夹紧。反向旋转螺母，即可卸下工件。图 4-29b 为以内孔定位的定心夹紧机构，弹性筒夹 3 双向铣出均匀相错的窄槽，使其两端均具有弹性。将它放置在夹具体 1 和以夹具体 1 的心轴为导向的锥套 5 的圆锥体之间，弹性筒夹外圆尺寸

在自由状态下小于工件内孔，很容易装入工件 2，旋转螺母 4，推动锥套 5 前移，压紧弹性筒夹 3 两端的内锥面，迫使它两端的簧瓣向外均匀扩张，从而将工件 2 定心后夹紧，销钉 6 可制止锥套 5 随螺母 4 转动。当工件较长时，可在夹具体前端设置顶尖孔，采用后顶尖顶牢，以增加工艺系统的刚度。反转螺母 4，即可松夹，将工件卸下。

弹性筒夹定心装置机构结构简单，定心精度高，夹紧可靠，操作也很方便，应用非常广泛。但弹性筒夹的变形量不宜过大，只有在定位直径变化不大的状况下采用，所以应配置多种规格的筒夹，专夹专用。

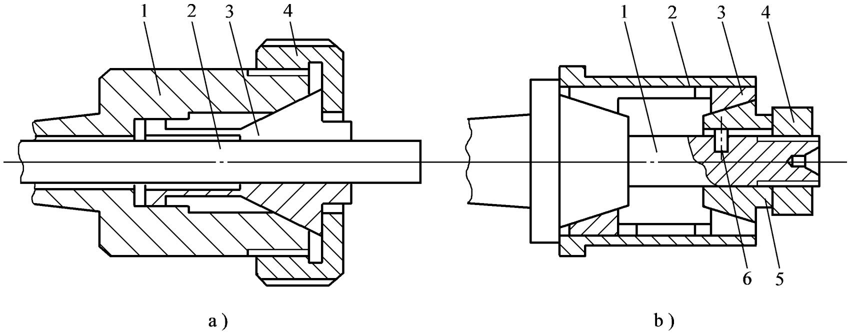


图 4-29　弹性筒夹定心装夹装置

a）外圆柱面定位　b）内孔定位

1—夹具体　2—工件　3—弹性筒夹　4—螺母　5—锥套　6—销钉

4.5.2　液塑夹具

液塑夹具是高精度定心的专用夹具，是根据液塑在密闭空间不可压缩的特性，在力的作用下产生的胀力实现夹紧的，图 4-30 为液塑定心夹具。在夹具体 5 设置与中心孔连通的环形槽，与薄壁胀套 2 内壁的环形槽合拼成环状空间并形成薄壁，液性塑料 3 装入密封。当工件 4 基准孔套入薄壁胀套 2 后，推进柱塞 1，使液性塑料在密闭的环形槽中受压，从而压缩力传递到薄壁胀套 2 使径向产生弹性变形，向外挤压，将工件 4 定心并胀紧。后退柱塞 1，液性塑料在薄壁胀套 2 的弹力回复作用下，恢复到原始状态，将工件 4 卸下。

液塑夹具结构简单，操作方便，它的定心精度也很高，若工件基准孔在 IT7 ~ IT8 级精度，它的定心精度可达 0.003mm。

液性塑料按质量分数的配方为：

聚氯乙烯树脂　　　　　　20%

邻苯二甲酸二丁酯	59%
硬脂酸镉	1%
透平油	20%

液塑拨动顶尖（图4-31）也是利用液性塑料的不可压缩性原理，同时完成较粗轴类工件的定心和拨动旋转的。将弹簧6、主顶尖4和副顶尖3分别装入主体5相应的内孔中，紧固挡护罩2，在主体5各内孔空间注满液性塑料7，丝堵8压紧封闭。轴类工件在装入前后顶尖后，后顶尖的轴向力使主顶尖向左移动，从而将向左的压缩力传递给连通的三个均匀分布的副顶尖3，使它们同步伸出顶紧工件端面，并拨动工件随主轴旋转。

一般主顶尖锥度为60°，副顶尖锥度为90°，均淬硬至60～65HRC。

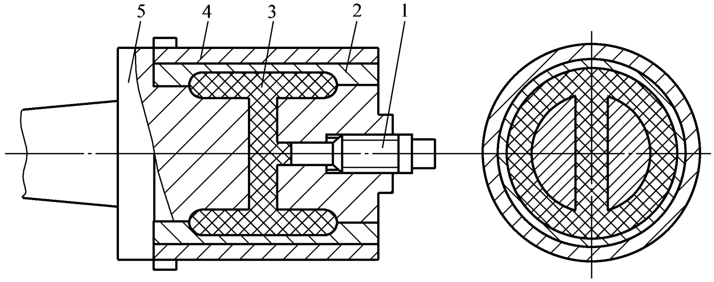


图4-30　液塑定心夹具

1—柱塞　2—薄壁胀套　3—液性塑料　4—工件　5—夹具体

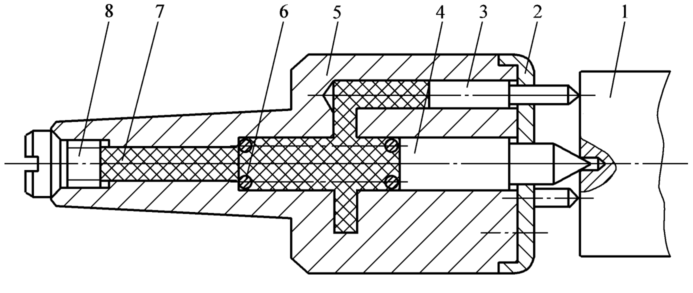


图4-31　液塑拨动顶夹

1—工件　2—挡护罩　3—副顶尖　4—主顶尖　5—主体

6—弹簧　7—液性塑料　8—丝堵

4.5.3　不停车夹头

当加工中、小工件时，装卸工件时必须频繁停车，影响经济效益。采用不停车夹头，主轴可以连续运转，使工件装卸方便。

图 4-32 为夹持工件外圆的不停车夹头。先将车头上的卡盘等附件卸下，用车床前轴承挡圈的凸台定位，将夹头外壳 3 固定在车床的主轴箱体 1 上，弹簧夹头 8 插入车床主轴 2 的锥孔，外锥体与内锥套 6 相配合。夹持工件后，扳动手柄 11，使止推套 4 带动滚动轴承 7、内锥套 6 向左移动，内锥套的内锥体则迫使弹簧夹头 8 均匀向内收拢，从而定心并夹紧工件。反向扳动手柄 11，弹簧夹头就均匀张开，卸下并安装工件。

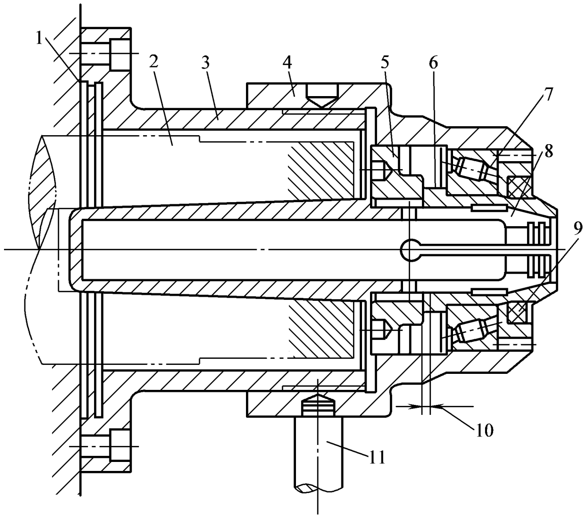


图 4-32　不停车夹头

1—主轴箱体　2—主轴　3—外壳　4—止推套
5—螺纹挡圈　6—内锥套　7—滚动轴承
8—弹簧夹头　9—油封　10—间隙　11—手柄

不停车夹头结构简单，操作方便，在装卸工件时，不必停车，避免了频繁停车带来的不便。

4.5.4　气动夹紧

手动夹具由于结构简单，易于制造，应用较广。但由于夹紧力小，动作慢，易于产生操作疲劳。因此，在大批量生产时，往往用动力装置代替人工进行装夹。动力装置有气动、液压、电动、电磁、真空等。其中气动夹具是常用的一种动力装置。

气动夹具是以压缩空气为动力，将它的工作压力转换为气缸中活塞的有序移动，从而驱动夹紧机构实现对工件的夹紧，气动卡盘就是典型的气动夹紧装置。

气动卡盘的夹紧原理如图 4-33 所示。用法兰盘将气缸 9 固定在车床主轴 12 的尾端，气道联接器 7 固定在主轴箱尾部。为了支承气缸体，在中间设置滚动轴承 8，并用垫料 6 防止漏气。

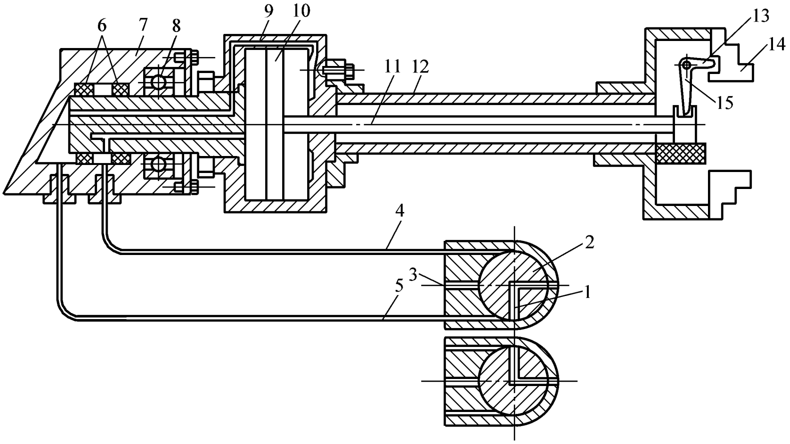


图 4-33　气动卡盘的夹紧原理

1—进口气管　2—配气开关　3—排气口　4、5—气道　6—垫料
7—气道联接器　8—滚动轴承　9—气缸　10—活塞　11—拉杆
12—车床主轴　13—短臂杆　14—卡爪　15—长臂杆

压缩空气经过分水过滤器、调压阀、油雾器、单向阀、配气开关 2、进口气管 1、气道 5 以 0.4 ~0.6MPa 的压力进入气缸 9 的右侧，空气压力使活塞 10 带动拉杆 11 向左移动，从而驱动曲轴杆的长臂杆 15 和短臂杆 13 作逆时针摆动，短臂杆 13 则拨动三爪自定心卡盘的卡爪 14 将工件夹紧，这时气缸左侧的气体则通过气道 4、配气开关 2、排气口 3 排出。若转动配气开关 2 手柄使进口气管 1 与气道 4 连通，则压缩空气向反方向流动，卡爪自动松开。

4.6　特殊工件的装夹实例

在切削实践中，往往遇到一些特殊工件，如结构复杂、形状不规则、刚性差以及加工精度特别是位置精度要求较高的工件等，在加工这些工件时，工件的装夹是操作关键和技术难点。由于受到各种特殊条件的限制，特殊工件一般难以用通常的方法进行装夹，必须根据工件的结构特点和技术要求，广开思路，运用多种多样、定位准确可靠的装夹方法，才能保证加工质量。所以，在特殊情况下，如何采用正确合理的装夹方法，是车工，特别是优秀车工应该具备的操作基本功。现就特殊工件的典型装夹方法作详细阐述。

4.6.1　在四爪单动卡盘上用划线盘找正

在车削大型工件或采用单件生产的行业，有些工件需用四爪单动卡盘装夹，

就必须根据工件上的划线找正，以获得正确的定位。

图 4-34 为塑料注射模侧抽芯机构上的装夹用工件简图。当外部各尺寸均按技术要求加工后，下一工序是在四爪单动卡盘上车削内孔的型腔各部分。为了保证它们相对于 A、B 中心线有较高的对称度精度，必须采取找正的方法，使工件正确定位。工件找正的过程为：

（1）组装　用圆柱销将对称的两件镶拼在一起。

（2）划线　划尺寸 110 对称的贯穿中心线（图 4-35），含上母线 B_1、下母线 B_2 以及工件端面的中心线 B_3，而两件拼合的拼缝，即是工件的内、外侧母线 A_1 和 A_2，再以中心点 O 划参考圆线 C。

（3）装夹　将工件装夹在四爪单动卡盘上，粗略找正后钻孔，留出型腔最小孔径足够的加工余量。

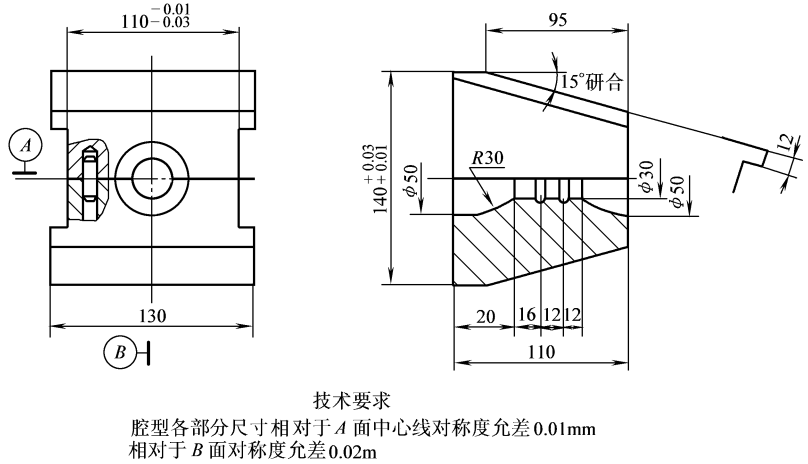


图 4-34　装夹用工件简图

（4）精找正　在车床导轨上放置两块等高的垫铁，使条形平板横跨导轨，并将划线盘放置其上，用划线盘找正工件端面的参考圆线 C，如图 4-35 所示。精找正步骤参见图 4-36 示意图。

1）搬动卡盘，使工件拼缝，即内外侧母线 A_1A_2 置于粗水平位置。

2）划针沿着工件拼缝 A_1 平行移动，若拼缝 A_1 偏离划针，表明工件拼缝面与主轴轴线倾斜，应调整工件的倾斜度，使 A_1 与划针的移动轨迹重合。

3）将划针平行移到相背的外侧母线 A_2，若 A_2 偏离划针一个距离 e_1，表明工件拼缝面与车床导轨不平行，如图 4-36a 所示。

4）将划针高度调至偏离方向距离大约 $e_1/2$，轻轻搬动卡盘，使外侧母线 A_2 对准划针。这时，再检测内侧母线 A_1 和端面平线，若它们都对准划针，表明侧母线 A_1A_2 平面与车床导轨平行，如图 4-36b 所示。

5）将卡盘翻转约半周，工件侧母线落在高度不变的划针上方 e_2 处，表明侧母线的平面在主轴轴线上方，应向下移动工件的位置，如图 4-36c 所示。这时，可先将划针高度调高至约 $e_2/2$ 处（这个位置应该是主轴的中心位置）。

6）使工件向下作平行位移，使侧母线对准划针，并检测内外侧母线 A_2A_1 及端面平线，使它们都与划针齐平，如图 4-36d 所示。

再反复将卡盘翻转半周，检测内外侧母线及 A_1A_2 及端面平线，若它们都对准划针，表明在这个方向上，工件拼缝面在通过主轴水平面 *NN* 的正确位置上，划针高度即为主轴的中心高度。

7）再用上述相同的方法找正尺寸 110 的对称中心位置。由于划针高度即为主轴的中心高度，可省去调节划针高度的操作。

8）对尺寸 140 和 110 的对称定位找正过程应交叉进行，因为对工件一个方向的调整和移动，总会引起另一个方向的位移，使原定位精度遭到破坏。所以只有对工件两个垂直方向进行交叉操作，并反复检测反复调节，才能最终使两垂直面都处于通过主轴轴线上，保证两垂直面的对称度精度。

9）用相同的力，对卡盘四爪进一步夹紧后，再重复检测对称十字中心线的位置，仍处于原来的定位状态。

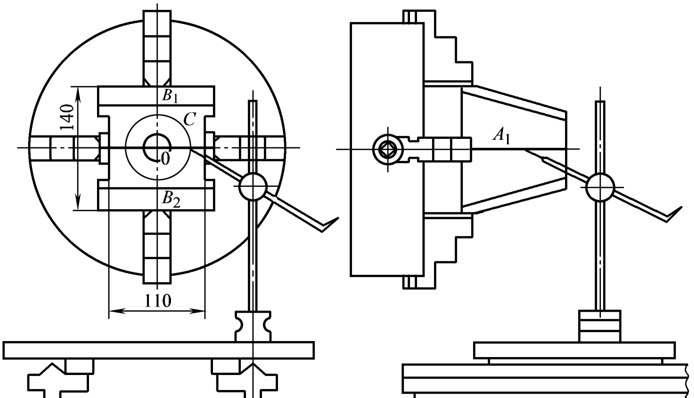


图 4-35　在四爪单动卡盘上用划线盘找正方法

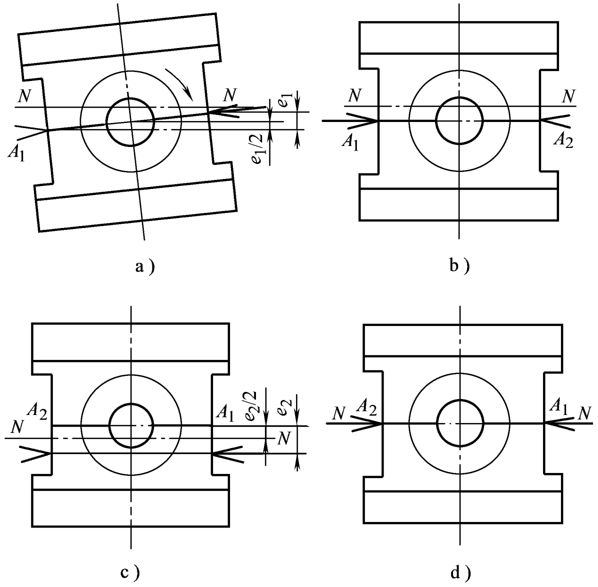


图 4-36　精找正步骤示意图

a）调整倾斜度　b）调整水平面　c）工件旋半周调节水平位置　d）确定正确位置

（5）应该注意的问题

1）四爪单动卡盘各夹紧的受力点必须对称、均衡，以防止在工件平移时产生歪扭现象，影响定位质量。

2）这类工件的对称度要求是为了保证塑件的顺利脱模和壁厚均匀，应仔细、耐心地操作。

3）划线盘划针前端应锋芒光滑如针，条形平板的直线度和平面度精度均有较高的要求，必要时应进行研磨，以减少找正误差。

上面介绍的用划线盘划针找正对称十字中心线的定位方法，是在模具制造、设备维修等单件生产的行业，以及大型工件常用的装夹方法，被称为对称十字中心线找正法，是车工特别是高级优秀车工必备的基本功。应领会要领，多实践，多思索，熟练地掌握这种基本技能。

4.6.2　用花盘和弯板装夹工件

在花盘和弯板（或称角铁）装夹工件是常用的装夹方法，如图 4-37 所示为车削支承座的装夹方法。在修整花盘 2 的端平面后，将弯板 4 安装在花盘 2 上，再对弯板的安装精度进行检测后，采用一面两销的定位方法，以工件 6 底平面为定位基准，两个定位销 5 在工件底座的孔中定位。为增加加工部位的刚度，加设辅助支承 3。

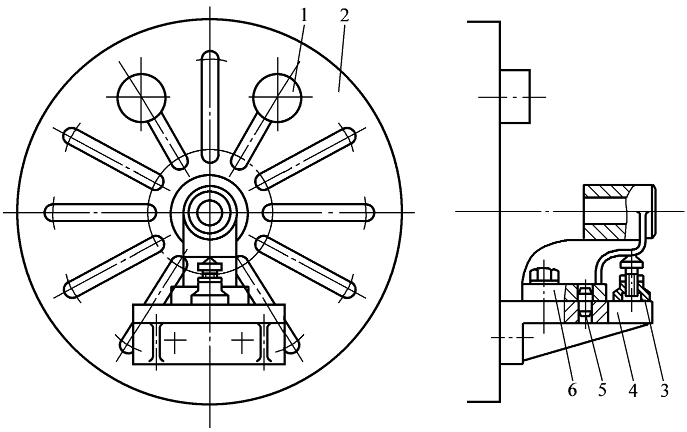


图 4-37　用花盘和弯板装夹工件

1—配重　2—花盘　3—辅助支承　4—弯板　5—定位销　6—工件

利用弯板装夹工件的操作要领：

1. 保证工件尺寸精度的基本方法

尺寸精度要求高的工件，在采用弯板工作面作为定位基准面时，应进行如下操作：

1）首先精车花盘平面，以获得直线度好的弯板定位平面。

2）在安装弯板时，弯板工作面的尺寸精度和形位精度误差，均应在工件加工精度允差的 1/2 以下。

3）弯板的定位基准面应进行刮研，要求平直、光洁，与工件基面接触良好，使定位稳定、可靠。

4）应局部调整机床运行精度。车床主轴旋转和床身导轨的相对运动均应满足几何精度和工作精度要求，以保证工件的尺寸精度和形位精度要求。

5）为防止工件切削受力变形，对刚性较差的工件可增设辅助支承。

6）在弯板上装夹工件，必然引起花盘重力的偏心，在机床旋转时，离心力会导致工艺系统的变形和对车床的损伤，所以必须设置配重，以保持运转的平衡。

2. 检测弯板安装精度的方法

在安装弯板时，弯板的工作面必须与主轴轴线平行，与主轴轴线的垂直高度满足工艺要求，所以必须对弯板的安装精度进行检测，具体方法是：

（1）检测弯板工作面与主轴轴线的平行度误差　其检测方法如图 4-38 所示，在弯板安装后，搬动花盘，使弯板工作面处于粗水平位置，把固定在中滑板上的百分表测头触及弯板工作面，横向直线移动百分表，并微量调节花盘位置，使百

分表指针无明显摆动时，将测头移至弯板工作面中心处，再纵向移动百分表，并观察指针摆动状况。若指针摆动，说明弯板工作面与主轴轴线不平行，这时可在倾斜方向的相应处垫上相应的薄纸或铜片，加以调整，直至百分表指针不动或能够满足工件的精度要求为止。

（2）确定弯板工作面与主轴轴线的垂直高度　在主轴锥孔中插入已知尺寸 D 的检验棒，如图 4-39 所示，在消除检验棒的圆跳动误差后，用高度游标卡尺测出检验棒上母线与弯板工作面的垂直距离 H_1，这时，弯板工作面与主轴轴线的垂直高度 $H=H_1-\dfrac{D}{2}$。若 H 不能满足工件加工要求，则应平移弯板，调整相对位置，直至调整并检测至使垂直高度满足工艺要求后紧固，即确定弯板工作面的正确位置。

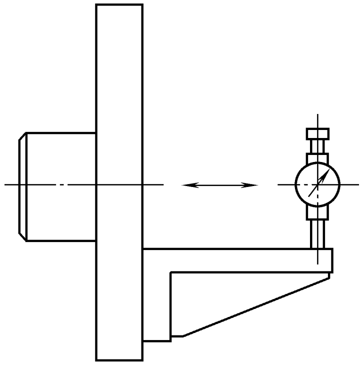


图 4-38　检测弯板平行度误差示意图

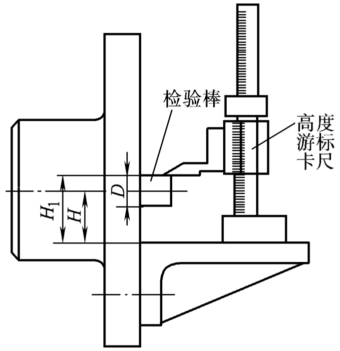


图 4-39　测量弯板与主轴轴线的垂直高度

3. 注意事项

1）设置配重的质量，只是进行粗略的估算，不可能达到动平衡状态，所以，车床转速不可太高。否则，离心力过大，会引起工艺系统的振动，使工件位置偏移，影响加工质量。

2）工件应装夹牢固、可靠，以防止工件的松动而发生安全事故。

3）选择合适的切削用量，除切削速度外，背吃刀量和进刀量也不能太大，以免引起工件的变形或松动。

4）用弯板装夹工件时，弯板、压板、配重等装夹零件不要凸出在盘外缘，以消除安全隐患。

4.6.3　在花盘上装夹奇形工件

奇形工件一般是指形状特殊的复杂工件，这类工件无法用卡盘直接装夹，通常将工件装夹在固定于花盘上、弯板上或专用夹具上。图 4-40 为加工压铸成形

的铝合金弯接头的装夹形式。在修正后的花盘 5 上，安装弯板 8 和与弯头角度相同的斜夹具 2，以斜面为定位基准，用两个销钉 3 和六角头螺栓 6，将工件定位并夹紧。为增强加工部位的刚性，在工件前端加设可自定心的 V 形块作为辅助支承。

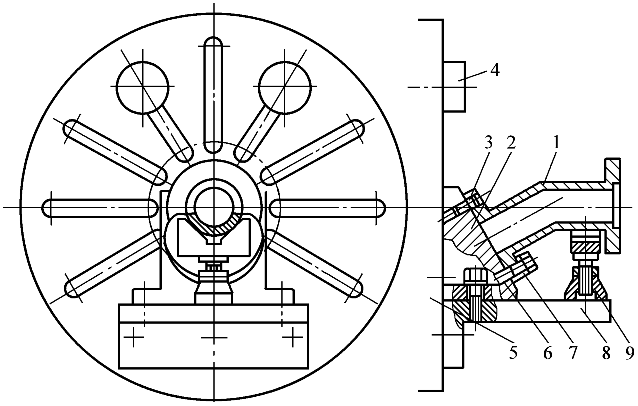


图 4-40　铝合金弯接头的装夹形式

1—工件　2—斜夹具　3—销钉　4—配重　5—花盘　6—六角头螺栓
7—垫圈　8—弯板　9—辅助支承

由于工件的基面座在斜夹具的斜面上，无法准确确定弯板和斜夹具以及工件相对于主轴轴线的确切位置，所以应采用划线盘找正对称十字中心线的方法，简单阐述如下：

1）将弯板 8 大体安装在花盘 5 相当的位置上，再将斜夹具 2 安装在弯板 8 工作面的中心，并紧贴花盘紧固。

2）将划有对称十字线的工件 1 的基准面装入斜夹具的斜面上，以一面两销定位后夹紧。

3）扳动花盘，使工件侧母线置于粗水平位置，将放置在横跨车床导轨上的条形平板上的划线盘的划针与内侧母线重合，并沿着内侧母线平行移动。若侧母线与划针偏离，说明工件与主轴轴线倾斜，应修整或调节斜夹具的斜面角度，使工件侧母线与划针的移动轨迹重合。

4）将划线盘移至相背的侧母线一侧，若划针未与侧母线对齐，说明工件侧母线与车床导轨不平行，这时，将划针高度调至偏离方向距离的一半，并扳动花盘，使侧母线对准划针后，再检测内侧母线；如果与划针对齐，说明侧母线平面与主轴轴线平行。

5）将花盘翻转半周，使划针对准某一侧母线，再将划针移动到相背的另一侧母线，如果产生偏离，则说明侧母线方向的平面不在主轴轴心线上，即应调整

工件的上下位置。首先将划针高度调到偏离方向距离的一半，并轻轻振击弯板，使工件沿偏离方向平行移动，将侧母线对准划针，再分别检测两侧母线。若均已对准划针，再将花盘翻转半周；若两侧母线仍对准划针，则说明侧母线方向的平面在通过主轴的水平面上。

6）在进行上述操作的同时，还应采用上述相同的方法，对垂直面左右的对称度进行交叉调整，并反复翻转花盘，检测对称十字中心线都与划针重合，中心孔也必然处于正确的位置。

7）牢固拧紧弯板和斜夹具的紧定螺栓后，再检测对称十字中心线的位置，若仍处于原来的位置不变，即可在首件检验合格后，进行批量生产。

4.6.4　用千分表找正高精度工件

用花盘装夹工件时，当工件精度要求很高，用划线盘找正很难满足要求时，可用千分表找正。在制造隔膜式真空泵泵体的压铸模时，斜销侧抽芯的侧对合型腔，是精度要求很高的成形零件，如图 4-41 所示。为了使两瓣型腔所含的压铸件表面积相等，在开模时两侧对压铸件的包紧力均匀，以便于顺利脱模和保证压铸件壁厚均匀的要求，在合模时，相互对合的两瓣型腔相对于分型面 *A* 和型腔滑动中心 *B* 应有很高的对称度精度。

1. 在加工侧对合型腔前的工艺路线为

1）锻：105mm×90mm×68mm 两件，单边留加工余量 3~4mm。

2）铣：加工 105mm×90mm×68mm 长方体，单边留磨量 0.2~0.4mm。

3）磨：两件一起磨各平面，使相对应的尺寸一致：

①磨尺寸 68mm 两面单边，留精磨量 0.05mm，保证两面平行度误差小于 0.01mm。

②磨尺寸 105mm 两面，达到尺寸精度要求，保证平行度误差小于 0.01mm，和两面与尺寸 68mm 两面的垂直误差小于 0.01mm。

4）钳：以底面 *A* 为基准，将两件对接夹紧，并在底面 *A* 和顶面进行局部点焊合，将两件组合为一体，并消除焊合各凸起点。

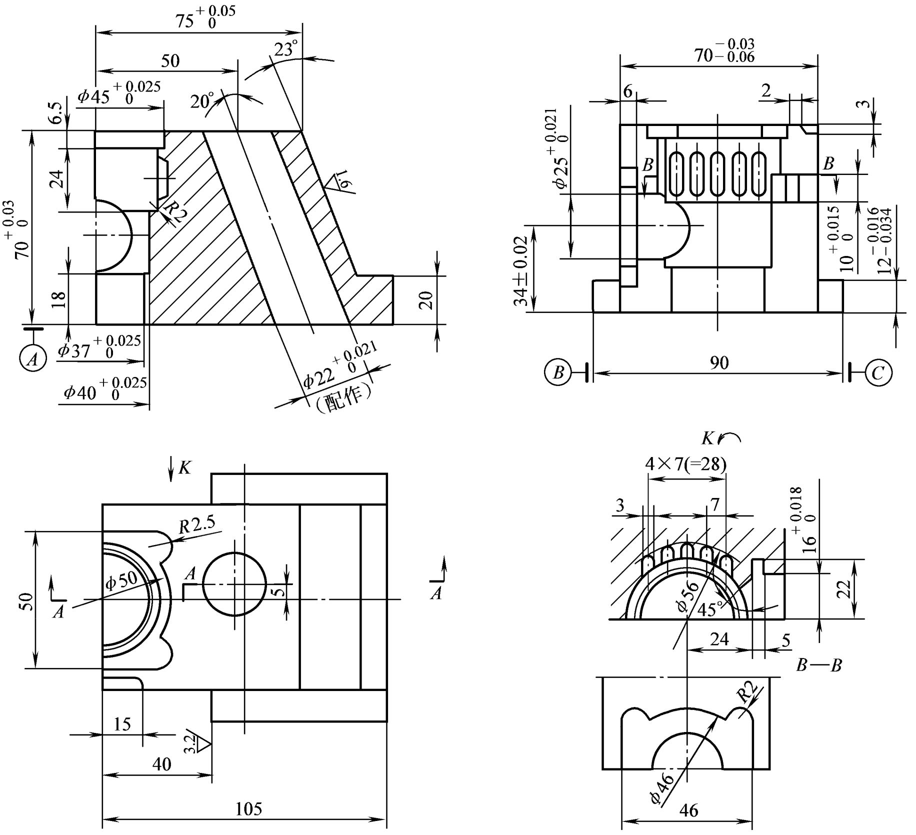
5）划线。

6）铣：按线铣尺寸 70mm 两侧和尺寸 12mm，单边均留磨量 0.2~0.4mm。

7）磨：检测底面 *A* 的直线度。由于底面 *A* 与焊接面的垂直度制造误差，会导致底面 *A* 或顶面两端的上翘或下塌，这时，可选择以两端上翘的一面为基面，在保证与焊接面垂直的状态下，将另一面磨平，再互为基准，磨另一面，达到尺寸 68mm 的精度要求。

8）磨：磨尺寸 70mm 和尺寸 12mm，达到尺寸精度要求，并保证尺寸 70mm 两侧与对接面的垂直度误差和尺寸 12mm 与底面 *A* 的平行度误差均小于 0.01mm。

9）划横向参考中心线和顶面参考圆线 *C*。



技术要求

1. 腔型各部分尺寸相对于 *B* 面和 *C* 面对称度允差 0.01mm

2. 试模后，热处理 44~48HRC

图 4-41　侧对合型腔加工工艺用图

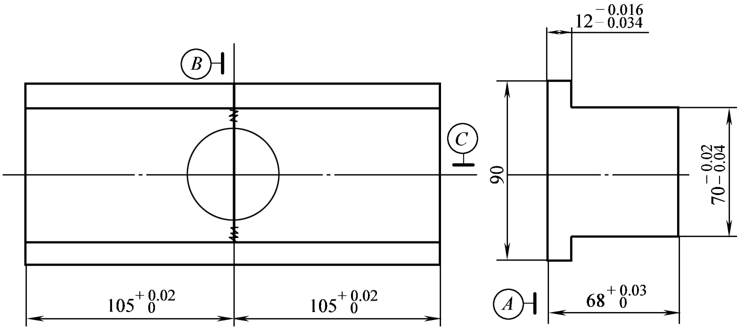
车削型腔前工件加工状况如图 4-42 所示。从加工过程看出：组合件 105mm ×2 两端面相互平行，并与对接面对称，尺寸 70mm 相互平行并与对接面垂直，那么当以底面 *A* 作为定位基准时，只要使尺寸 105mm ×2 两端面和尺寸 70mm 两侧各自相互对称，那么型腔的空间位置一定是在主轴轴线上。

2. 用千分表找正的方法

将花盘平面修整后，以底面 *A* 作定位基准，用压板、螺栓等将组合件装夹在花盘上，如图 4-43 所示。用千分表找正的基本方法是：

（1）粗找正　用划线盘粗找参考圆线 *C*。

（2）粗加工　粗找正后夹紧、钻孔，留出型腔最小孔径足够的加工余量。



技术要求
1.表面粗糙度值 R_a 为0.8μm,各面垂直度和平行度允差0.01mm
2.腔型各部分尺寸相对于 B 面对称度允差0.01mm,相对于 C 面对称度允差0.02m

图 4-42　车削型腔前工件加工状况

（3）找尺寸 70mm 的对称中心位置　将千分表固定在中滑板上，千分表测头触及尺寸 70mm 的上侧面，如图 4-43 左图所示。使千分表作横向移动，找平后，记下千分表读数；在测头退离工件后，将花盘扳转半周，再将测头触及另一侧面，找平后，再记下千分表读数。比较千分表的读数差，在确定工件的偏移方向后，轻轻振击工件，调整工件的空间位置，经反复测量和反复调整，直到两侧面在水平状态下千分表的读数相同，表明在这个方向上，尺寸 70mm 两侧面的对称中心在主轴的轴线上。

（4）找正尺寸 105mm ×2 的对称中心位置　用上述相同的方法，将花盘翻转 90°，千分表测头沿尺寸 105mm 上端面横向移动，找平后，记下千分表读数，如图 4-43 右图所示。再翻转花盘半圆。将端面找平后，对比千分表读数差，确定工件的偏移方向后，调整工件位置并找正。

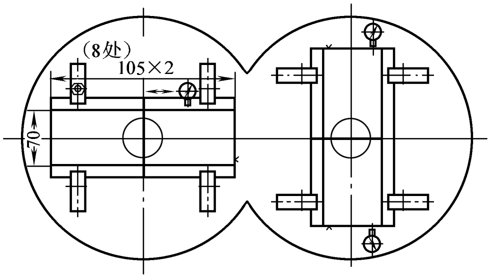


图 4-43　在花盘上用千分表定位示意图

（5）尺寸 105mm ×2 和 70mm 两个方向的找正应交叉进行，在检测和调整一个方向位置的同时，还应兼顾另一个方向位置的检测和调整，即反复交叉重复以上的操作，直到工件两个方向的对称度中心都与主轴轴线重合，才能确切保证工件的位置精度要求。

第 5 章　车　　刀

车削金属过程是通过车刀以及其他切削工具与被切削材料的相对运动，迫使切削刃切入金属实现的。车刀的种类很多，根据其用途，可分为：外圆车刀、内孔车刀、切断刀以及各种成形车刀等，如第 1 章的图 1-1 所示。虽然各类车刀的用途和形式不同，但是它们切削部分的几何特征都具有共同点，其基本作用都是在切削过程中用切削刃顺畅地切去工件上多余的金属。

车刀是车削过程的基本工具，认真掌握车刀的基本知识，并结合工艺实践，采用适宜的刀具材料和车刀的几何参数，使其在相同的切削条件下，切削顺畅，在保证加工质量和提高切削效率的同时，延长刀具的使用寿命，这是车工，特别是高级车工和优秀车工追求的目标。

5.1　刀具材料

刀具材料一般是指刀具切削部分的材料。刀具材料和几何参数是决定刀具切削性能的重要因素，其中刀具材料的性能起关键作用。刀具切削部分在切入金属层时，承受着较大的切削力、冲击力、振动力以及由内、外摩擦力产生的高温等的冲蚀作用。为适应繁重的切削负荷和恶劣的工作条件，刀具材料必须具备相应的性能。

5.1.1　刀具材料应具有的性能

刀具材料一般是指刀具切削部分的材料，应具有如下性能：

（1）高硬度和高耐磨性　在常温下，刀具切削部分的硬度必须大大高于工件材料的硬度，一般它的常温硬度应超过 60HRC。某些难于加工的材料，对常温硬度要求更高。耐磨性是刀具材料抵抗摩擦和磨损的能力，它与硬度有密切关系，一般说来，刀具材料的硬度越高，耐磨性也越好。

（2）足够的强度和韧性　在切削过程中，刀具切削部分要承受总切削力、冲击载荷和振动。为防止刀具变形、崩刃或断裂，刀具材料必须具有足够的强度和韧性，通常用抗弯强度和冲击韧度表示。

（3）高耐热性　耐热性（又称热硬性）是指刀具材料在高的切削温度下仍能保持常温时所具有的硬度、耐磨性、强度、韧性和抗氧化的能力，它是刀具材料的主要性能指标。耐热性能高，可适当提高切削速度。一般用保持刀具材料切

削性能的最高极限温度表示，也可用某一高温时刀具材料所具有的硬度表示。

（4）良好的导热性和较小的线胀系数　导热性是表示刀具传导切削热的能力，在相同的条件下，热导率越大，导热性越好，由刀具传导出去的热量越多，越有利于降低切削温度和减轻刀具的磨损，提高刀具的使用寿命。线胀系数小，则可减少刀具的热变形。对于焊接刀具或涂层刀片，也可减少刀片与刀杆材料、涂层与基体材料的差异，减少因线胀系数不匹配产生的影响。

（5）良好的工艺性和经济性　为了便于刀具的制造和刃磨，刀具切削部分的材料应具有良好的加工性和热处理性，包括切削加工性能和锻轧、焊接性能、可磨削性能以及热处理变形小、淬透性好、脱碳层薄等。

刀具材料的经济性是指取材资源丰富、价格低廉，以降低刀具的制造成本，便于推广。

5.1.2　各类刀具材料的特性和用途

刀具切削部分材料的种类很多，有金属材料和非金属材料之分，并可归纳为工具钢、硬质合金、陶瓷和超硬材料四大类。各种刀具材料的力学性能见表 5-1。

表 5-1　各种刀具材料的力学性能

材料种类		密度 ρ /(g/cm³)	硬度 HRC (HRA)[HV]	抗弯强度 σ_{bb} /(MPa)	冲击韧度 α_K /(kJ/cm²)	热导率 λ /[W/(m·K)]	耐热性/℃
工具钢	碳素工具钢	7.6~7.8	60~65 (81.2~84)	2160	—	41.87	200~250
	合金工具钢	7.7~7.9	60~65 (~81.2~84)	2350	—	41.87	300~400
	高速钢	8.0~8.8	63~70 (83~86.6)	1960~4410	0.0098~0.0588	16.75~25.1	600~700
硬质合金钢	钨钴类	11.4~15.3	(89~91.5)	1080~2160	0.0019~0.0059	75.4~87.9	800
	钨钛钴类	9.35~13.2	(89~92.5)	882~1370	0.00029~0.00068	20.9~62.8	900
	钨钛钽(铌)钴类	14.4~15.0	(~92)	1470	—	—	1000~1100
	碳化钛基类	12.7~13.5	(92~93.3)	780~1080	—	—	1100

（续）

材料种类		密度 ρ /(g/cm^3)	硬度 HRC (HRA)[HV]	抗弯强度 σ_{bb} /(MPa)	冲击韧度 α_K /(kJ/cm^2)	热导率 λ /[W/(m·K]	耐热性/℃
陶瓷	氧化铝陶瓷	3.6～4.7	(91～95)	440～6860	0.00049～0.00117	4.19～20.93	1200
	氧化铝碳化物混合陶瓷			710～880			1100
	氮化硅陶瓷	3.26	[5000]	735～830		37.68	1300
超硬材料	立方氮化硼	3.44～3.49	[8000～9000]	2940		75.55	1400～1500
	人造金刚石	3.47～3.56	[10000]	210～480		146.54	700～800

目前切削部分常用的材料是高速工具钢和硬质合金等。

1. 高速工具钢

工具钢分碳素工具钢、合金工具钢和高速工具钢。碳素工具钢是指含碳量（质量分数）为0.65%～1.35%的优质高碳钢，如T10A和T12A等。在碳素工具钢中再加入适量的合金元素如锰、铬、钨、硅和钒等，即称合金工具钢，如9SiCr、GCr15、CrWMn等。它们热处理后的硬度较高，一般可达60～65HRC，但由于回火温度较低，当切削温度超过其回火温度时，材料内部的金相组织发生相变，使其硬度显著下降而磨损，它们的耐热温度均在400℃以下。所以主要用于制造一些低速的手动刃具，如手用丝锥、扳牙等。现在已经应用较少，下面只介绍广泛应用的高速工具钢。

高速工具钢是在碳素钢中加入较多的钨、钼、铬、钒等合金元素，它与碳素工具钢和合金工具钢相比，可提高切削速度1～3倍，由此被称作高速工具钢，简称高速钢。

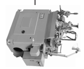
（1）高速钢的力学性能　高速钢是一种含钨（W）、钼（Mo）、铬（Cr）、钒（V）等综合元素较多的高合金工具钢。它的主要特点是具有较高的硬度（淬火后硬度为63～70HRC）、强度和耐磨性、较高的耐热性（540℃～600℃）和淬硬性以及较好的工艺性能，便于制造和刃磨。

高速钢是一种综合性能较好的刀具材料，在刃磨后，能获得锋利的切削刃，故又称之为“锋钢”。由于用高速钢制造的刀具刃口强度和韧性高，故能承受较大的冲击载荷，所以目前高速钢仍是制造刀具，尤其是制造形状复杂刀具使用较多的刀具材料。

高速钢按其性能，可分为普通高速钢和高性能高速钢；按其化学成分，又可分为钨系高速钢和钨钼系高速钢。常用高速钢的化学成分及力学性能见表5-2。

表 5-2 常用高速钢的化学成分及力学性能

类型	牌号	质量分数(%)							硬度 HRC	抗弯强度 σ_{bb} /MPa	冲击韧度 α_K /(kJ/cm^2)	600℃高温硬度 HRC	磨削性能
		C	W	Mo	Cr	V	Co	Al					
普通高速钢	W18Cr4V	0.70 ~ 0.80	17.5 ~	≤0.30	3.80 ~ 4.40	1.00 ~ 1.40	—	—	63 ~ 66	3430	0.030	48.5	好。棕刚玉砂轮能磨
普通高速钢	W6Mo5Cr4V2	0.80 ~ 0.90	5.50 ~ 6.75	4.50 ~ 5.50	3.80 ~ 4.40	1.75 ~ 2.20	—	—	63 ~ 66	4500 ~ 4700	0.050	47 ~ 48	较 W18Cr4V 稍差一些,棕刚玉砂轮能磨
高性能高速钢	W12Cr4V4Mo	1.20 ~ 1.40	11.50 ~ 13.00	0.90 ~ 1.20	3.80 ~ 4.40	3.80 ~ 4.40	—	—	65 ~ 67	3200	0.025	51.7	差
高性能高速钢	W6Mo5Cr4V2Al(501)	1.05 ~ 1.20	5.50 ~ 6.75	4.50 ~ 5.55	3.80 ~ 4.40	1.75 ~ 2.20	—	0.80 ~ 1.20	67 ~ 69	3430 ~ 3730	0.020	55	较 W18Cr4V 稍差一些
高性能高速钢	W10Mo4Cr4V3Al(5F6)	1.30 ~ 1.45	9.00 ~ 10.5	3.50 ~ 4.50	3.80 ~ 4.50	2.70 ~ 3.20	—	0.70 ~ 1.20	67 ~ 69	3070	0.020	54	较差
高性能高速钢	W2Mo9Cr4VCo8(M42)	1.05 ~ 1.15	1.15 ~ 1.85	9.00 ~ 10.00	3.50 ~ 4.25	0.95 ~ 1.35	7.75 ~ 8.75	—	67 ~ 70	2650 ~ 3730	0.010	55	好。棕刚玉砂轮能磨



（2）常用高速钢的用途　根据各品牌高速钢的特点和成本因素，它们的主要用途也各有侧重，现简单介绍如下：

1）W18Cr4V。综合性能好，成本低，用途广泛。多用于制造精加工车刀、铣刀、钻头、铰刀、丝锥等常用刃具。

2）W6Mo5Cr4V2。强度和韧性较好，多用于制造要求热塑性好和承受较大冲击而结构单薄的刀具，如轧制钻头等。

3）W12Cr4V4Mo。属高钒高速钢，耐磨性较好，适于切削对刀具磨损大的材料，如高强度钢、不锈钢以及硬橡胶和塑料等。

4）W6Mo5Cr4V2Al。属含铝超硬高速钢，称 501 钢。用于制造铣刀、齿轮刀具和拉刀等精密成形刃具，刀具使用寿命较长，大约为 W18Cr4V 的 1.5 倍以上。

5）W10Mo4Cr4V3Al（5F6）。也属含铝高速钢，力学性能与 501 钢相近。它的突出特点是耐磨性能极好，刀具寿命为 W18Cr4V 的 2 倍以上。

6）W2Mo9Cr4VCo8。国际上典型的牌号 M42，是含钴的超硬高速钢，常温和高温下的硬度很高，适于加工高强度的耐热钢、钛合金钢、奥氏体不锈钢等难以切削的材料，而且可磨性好，适于制作精密复杂的刀具。但冲击韧度较差，不宜在冲击切削条件下工作。

2. 硬质合金

硬质合金是由高硬度、难熔的金属碳化物（WC、TiC、TaC、NbC 等）纳米数量级的粉末，用 Co、Mo、Ni 等胶结金属，在高温高压下烧结而成的粉末冶金材料。由于硬质合金中碳化物含量多，而且都有熔点高、硬度高等特点，使其常温硬度可达 89～93HRA（相当于 74～81HRC），耐磨性和耐热性较高，在 800～1000℃的切削温度下仍能保持良好的切削能力。所以，它允许的切削速度可达 100～200m/min，比高速钢高 4～6 倍，并能加工高速钢刀具难以切削加工的材料，如淬火钢等，因此获得广泛应用，是目前重要的刀具材料。

硬质合金的不足是：抗弯强度和冲击韧度比高速钢低，承受冲击和振动的能力差，多用于制造刀片，很少做成形状复杂的整体刀具。

（1）硬质合金的分类　目前我国生产的硬质合金按化学成分和使用特性可分为四类：

1）钨钴类（YG）：由 WC + Co 组成。

2）钨钛钴类（YT）：由 WC + TiC + Co 组成。

3）钨钛钽（铌）钴类（YW）：即在 YG 或 YT 基础上添加稀有金属碳化物 TaC 或 NbC，所以又分为：WC + TaC（NbC）+ Co 和 WC + TiC + TaC（NbC）+ Co 两类。

4）碳化钛基类（YN）：主要由 TiC + Ni + Mo 组成。

（2）常用硬质合金的主要性能和应用　常用硬质合金的化学成分及力学性能见表 5-3。

表 5-3　常用硬质合金的化学成分及力学性能

类型	牌号	质量分数(%)					力 学 性 能			
		WC	TiC	TaC(NbC)	Co	其它	硬度 HRC	密度 /(g/cm^3)	热导率 λ/ [W/(m·K)]	抗弯强度 σ_{bb}/MPa
钨钴类钨钛钴类钨钛钽(铌)钴类	YG3	97	—	—	3	—	91(78)	14.9～15.3	87.92	1080
	YG6X	93.6	—	0.5	6	—	91(78)	14.6～15.0	75.55	1370
	YG6	94	—	—	6	—	89.5(75)	14.6～15.0	75.55	1420
	YG8	92	—	—	8	—	89(74)	14.5～14.9	75.36	1470
钨钴类钨钛钴类钨钛钽(铌)钴类	YT30	66	30	—	4	—	92.5 (80.5)	9.3～9.7	20.93	880
	YT15	79	15	—	6	—	91(78)	11.0～11.7	33.49	1130
	YT14	78	14	—	8	—	90.5(77)	11.2～12.2	33.49	1770
	YT5	85	5	—	10	—	89(74)	12.5～13.2	62.80	1370
钨钴类钨钛钴类	YW1	84	6	4	6	—	91.5(78)	12.8～13.3	—	1180
	YW2	82	6	4	8	—	90.5(77)	12.6～13.0	—	1320
钨钛钽(铌)钴类	YN05	—	79	—	—	NiCMo14	93.3(82)	5.56	—	780～930
	TN10	15	62	1	—	Ni12Mo12	92(80)	6.3	—	1080

常用硬质合金的应用与选择如表 5-4 所示。

表 5-4　常用硬质合金的应用与选择

类型	牌号	用　途	耐磨、耐热
钨钴类	YG3	铸铁、非铁金属及合金的精加工、半精加工。切削时不能承受冲击荷载	↑
	YG6X	铸铁、冷硬铸铁、高温合金的精加工和半精加工	
	YG6	铸铁、非铁金属及合金的半精加工和精加工	
	YG8	铸铁、非铁金属及合金、非金属材料的粗加工，也可断续切削	
钨钴钛类	YT30	碳素钢、合金钢的精加工	↑
	YT15 YT14	碳素钢、合金钢在连续切削时的粗加工、半精加工及精加工，也可用于断续时的精加工	
	YT15	碳素钢、合金钢的粗加工。可用于断续切削	

（续）

类型	牌号	用　　途	耐磨、耐热
钨钛钽（铌）钴类	YW1	高温合金、高锰钢、不锈钢等难加工材料及普通钢、铸铁的精加工与半精加工	
	YW2	高温合金、高锰钢、不锈钢等难加工材料及普通钢、铸铁的粗加工与半精加工	
碳化钛基类	YN05	低碳钢、中碳钢、合金钢的高速精车、工艺刚性较好的细长轴精加工	
	YN10	碳钢、合金钢、工具钢、淬硬钢连续切削的精加工	

比较以上各表的数据，引伸以下主要内容：

1）力学性能与高速钢比较，硬质合金的抗弯强度和冲击强度都比高速钢低，即它们的质地较脆，耐冲击和振动的能力差。硬度则比高速钢高得多，从而刃磨比较困难，刃口也不容易磨得像高速钢那样锋利。这些都是硬质合金不能完全替代高速钢的原因。所以说，硬质合金和高速钢各有特点，它们仍是目前制造刀具的两类重要材料，只要合理选择使用，就会相辅相成，发挥它们各自的优势。

2）从表中看出，各类硬质合金的力学性能随着主要化学成分含量的多少发生变化，如硬度、耐磨性和耐热性均按在各自类型中的排列顺序向上依次递增。

3）钨钴类（YG）硬质合金由碳化钨（WC）和钴（Co）烧结而成。常用的牌号有 YG3、YG8 等。牌号中的数字表示含钴量的百分比，含钴量越多，其韧性越高，抗弯强度越高，但硬度、耐磨性及耐热性较低。

由于钨钴类硬质合金与塑料材料易于粘接，所以适用于切削铸铁等脆性金属、非铁金属及其合金，以及非金属材料和含钛的不锈钢等材料，其中 YG8 适用于粗加工，YG3 适用于精加工。

4）钨钴钛类（YT）硬质合金由碳化钨（WC）、碳化钛（TiC）和钴（Co）烧结而成。常用的牌号有 YT30、YT5 等。牌号中的数字表示含碳化钛量的百分比，含碳化钛量越多，其硬度和耐磨性较高，但抗弯强度和韧性较差。所以，要求强度和耐磨性高时，应选用钛含量较多的牌号；能承受冲击或振动的切削，为避免崩刃，应选用钛含量较少的牌号。

钨钴钛类硬质合金耐热性较好，不易产生粘接，通常适宜于加工塑性较大的材料，其中在加工塑性材料时，YT5 适用于粗加工，YT30 适用于精加工。

5）钨钛钽（铌）钴类（YW）硬质合金由碳化钨（WC）、碳化钽（TaC）或碳化铌（NbC）和钴（Co）构成。由于碳化钽或碳化铌的熔点很高，所以提高了高温硬度和高温强度，也提高了耐磨性和抗氧化能力，是一种既能切削钢材，又能切削铸铁和非铁金属及其合金，通用性较好的刀具材料。

6）碳化钛基类（YN）硬质合金是以碳化钛（TiC）为硬质相，用镍（Ni）和钼（Mo）作为结合剂的硬质合金，其优点是硬度高、耐磨性好和抗氧化能力很强，在 1000℃以上的高温下，仍能进行正常切削，但抗弯强度较低，一般适用于耐热钢、合金钢、淬火钢等难切削材料的高速精加工。

7）硬质合金的鉴别。当各类硬质合金，比如 YG 类和 YT 类刀片混在一起时，从外观上很难加以区别，一般可利用它们不同的密度加以粗略鉴别。将混装的刀片放入密度为 $13.6g/m^3$ 的汞中，YT 类硬质合金的密度小于汞，即浮在汞面上；而 YG 类硬质合金的密度均大于汞而下沉。由于汞对人体有害，只作常识介绍，不作推广应用。

3. 陶瓷

陶瓷材料是以氧化铝（Al_2O_3）为主要成分的微粉在高温下烧结而成。按其构成，又分为矿物陶瓷和金属陶瓷两种。金属陶瓷是在氧化铝基体中添加一些高强度、难熔碳化物，如 TiC、Ni 和 Mo 等，以提高抗弯强度。陶瓷的硬度、耐磨性特别是耐热性比硬质合金高，能在 1100℃或更高的切削温度下工作。因此，切削速度比硬质合金高 20% ~25%。由于陶瓷与金属的化学亲和力差，所以在切削时，摩擦因数小，不易粘刀和产生积屑瘤，能获得较好的加工表面和尺寸稳定性。但由于其脆性大，容易崩刃，在使用上受到很大限制。目前，一般制成多边形不重磨刀片，主要用于切削硬度为 45 ~55HRC 的工具钢和淬硬钢的半精加工和精加工。

4. 超硬材料

（1）立方氮化硼　它是近代开发出来的新型刀具材料。它是由与石墨结构相似的立方氮化硼（白石墨）在高温高压下加催化剂转化而成。立方氮化硼化学稳定性好，切削温度在 1000℃以下不会氧化，在 1200 ~1300℃时也不易与铁系金属起化学反应而导致磨损。立方氮化硼的硬度和耐磨性仅次于金刚石，但其耐热性可达 1400 ~1500℃的高温，又具有良好的磨削工艺性，用一般金刚石砂轮即可刃磨，是一种新型的很有发展前途的刀具材料。

立方氮化硼刀具一般是采用硬质合金为基体复合立方氮化硼双层刀片，这样既可提高综合强度，充分显示高硬度的优势，又可节约贵重材料，降低成本。主要用于加工高硬度（64 ~70HRC）的淬硬钢、冷硬铸铁等难以加工的材料。

（2）人造金刚石　人造金刚石是在高温、高压和其他条件配合下，由石墨烧结而成。它的硬度与天然金刚石相近，是目前人工制造出来的最硬物质，其硬度接近 10000HV（相当于硬质合金的 5 ~10 倍）。

人造金刚石又分为单晶体和聚合体两种。单晶体多用于制造砂轮，聚合体可以制作切削刀片。人造金刚石刀具具有极高的硬度、较高的耐磨性和加工尺寸的稳定性，但耐热性较差，切削温度在 788℃时，即开始石墨化变软，而且抗弯强

度低，脆性大，对振动敏感，所以主要用在数控机床和自动机床上，对铝、铝合金、塑料、陶瓷、玻璃纤维等进行微量的高速精细切削，表面粗糙度值 R_a 可达 0.1～0.025μm。人造金刚石刀具与铁有较强的化学亲和力，故不适合加工钢铁材料。

5. 新型硬质合金材料

随着科学技术的进步，一些高性能的刀具材料相继出现，它反映了切削加工技术的提高与发展。

（1）涂层刀具　单一的刀具材料其韧性和硬度一般不能兼顾。近年来采用在刀具材料表面进行涂层处理的新工艺，取得了较好的效果。

涂层刀具是在韧性相对较好的高速钢或硬质合金刀具基体上，分别通过物理气相沉积法或化学气相沉积法，涂覆一层 5～12μm 厚的耐磨性很高的难熔金属，如碳化钛（TiC）、氮化钛（TiN）和氧化铝（Al_2O_3）等。使刀具切削部分既有基体材料的强度和韧性，又具有涂层材料很高的硬度和耐磨性，较好地解决了强度、韧性与硬度、耐磨性之间的矛盾，从而提高了刀具的综合性能，特别适合高速切削。

1）TiC 涂层刀片。TiC 涂层具有很高的熔点、硬度和耐磨性，以及较好的抗氧化能力，切削时能产生氧化铁薄膜，可降低摩擦因数，减少刀具磨损，一般硬度比普通硬质合金可提高 1 倍以上，切削速度可提高 40% 左右。TiC 与钢的粘接温度较高，表面晶粒较细，不容易产生积屑瘤，适合于精车。

2）TiN 涂层刀片。TiN 涂层与铁基材料的亲和力小，摩擦因数较低，能有效地降低切削温度。抗氧化能力和后面磨损能力比 TiC 刀片强，加工表面可获得较小的粗糙度值，并提高刀具寿命，适合于切削易于粘刀的塑性材料。

3）Al_2O_3 涂层刀片。Al_2O_3 涂层在高温下具有良好的热稳定性和较高的高温硬度。在切削时，摩擦因数小，不容易产生积屑瘤，能获得较小的表面粗糙度值和保证尺寸精度的稳定性。

4）复合涂层。目前单涂层刀片已很少应用，多采用复合涂层，如：TiC-TiN 复合涂层、TiC-Al_2O_3 复合涂层。

①TiC-TiN 复合涂层。第一层涂 TiC 使涂层与基体粘接牢固，不易脱落；第二层涂 TiN，使表面层具有良好的抗磨损能力。

②TiC-Al_2O_3 复合涂层。第一层涂 TiC，第二层涂 Al_2O_3，使表面层具有良好的化学稳定性和抗氧化性能。这种复合涂层能像陶瓷刀具那样进行高速切削，寿命比 TiC、TiN 涂层刀片高，同时又能避免陶瓷刀具的脆性、易崩刃的不足。

（2）稀土硬质合金　在各种硬质合金材料中，以一定方式添加少量的钇等稀土元素。稀土元素是指化学元素周期表中，原子序数 57～71（从 La 到 Lu），

再加上 21 和 39（Se 和 Y），共 17 个元素。添加稀土元素的硬质合金组织致密，其强化硬质相，使常温硬度、耐热硬度、耐磨性能均可提高；同时可净化晶界，改善碳化物固溶体对粘接相的润湿性，改善硬质合金的抗弯强度和断裂韧度，有效地提高力学性能和切削性能。

在 YG8、YT14 和 TW1 硬质合金中添加 Ce、Y 等稀土元素后，形成了稀土硬质合金 YG8R、YT14R 和 TW1R。其中 YG8R 主要用于铸铁和非铁金属的粗加工；YT14R 主要用于钢材的半精加工；TW1R 则为通用牌号，可用于各种材料的半精加工。

5.2　车刀切削部分的几何参数

车刀是车削加工的重要工具，研究和正确刃磨车刀切削部分各部的几何形状、几何角度，对保证产品质量、提高生产效率、延长刀具使用寿命和节约能源，都有重要的实际意义。

5.2.1　车刀的结构和几何形状

普通车刀基本上是由刀头和刀体两部分组成。刀头是切削部分，刀体则将车刀夹持在刀架上，称为夹持部分，并承载切削负载。根据用途的不同，车刀的结构形式如图 5-1 所示。

图 5-1a 为整体式内螺纹车刀，由高速钢整体锻成，多用于孔径较小的内孔加工，如内孔粗车、精车、内沟槽及各种内螺纹等。

图 5-1b、c 分别为加工外圆或内孔的焊接式车刀。它们是将高速钢或硬质合金焊接在刀体上，既节省了刀具材料，又便于刃磨，是应用最广的结构形式。

图 5-1d 为机械夹固式结构形式，即将具有几个切削刃的标准刀片，以机械形式装夹在标准刀体上，使用时不需刃磨，只用磨石研磨即可使用。切削刃用钝后，可松开夹紧机构，将刀片转一个角度换一新的切削刃即可进行继续切削。这种结构的形式很多，它们的主要优点是：节省贵重的刀具材料和刃磨时间，减轻工人的劳动强度，提高劳动生产率。

图 5-1e 和 f 为内孔刀杆，将很小的刀尖安装在碳素钢制成的刀杆上，在顶端或上面用内六角螺钉紧固，用于通孔的各种加工。图 5-1e 所示的刀杆，其伸出的长度固定；图 5-1f 则为长度可调的内孔矩形刀杆，能适应多种孔深的内孔加工。因此，可根据孔径的大小和孔的深浅做成几组备用，以便在加工时供选择使用。它们的共同特点是：制作简单，装卸方便，节约刀具材料，应用比较广泛。

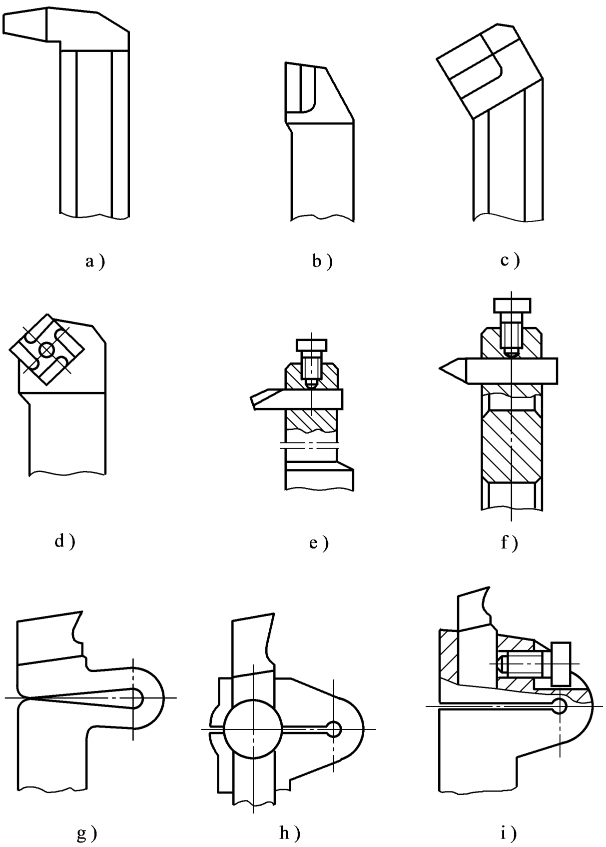


图 5-1　车刀的结构形式

a）整体式内螺纹车刀　b）焊接式外圆偏刀　c）焊接式内孔车刀

d）机械夹固式外圆车刀　e）内孔刀杆　f）长度可调的内孔矩形刀杆

g）弹性修光车刀　h）弹性切断刀杆　i）可回转弹性刀杆

图 5-1g 为带弹性的修光车刀，它是将高速钢刀片焊接在弹性刀体上，进行低速车螺纹或修光精加工等，以防止产生扎刀现象，多用于无法进行磨削的精加工表面。这种形式的修光车刀，切削刃平直，如果装刀精确，即使采用较大的进给量，也能获得表面粗糙度值很低的加工表面。

图 5-1h 是装夹刀片进行切断的弹性刀杆。将通用高速钢刀片装在弹性刀杆上。它的特点是除了起切削力的缓冲作用外，还节约刀具材料，使切断刀切削刃磨简单，并易于更换，在低速切断时具有很大的应用价值。

图 5-1i 所示的弹性刀杆是切削螺纹或蜗杆的通用刀杆，它的最大特点是可根据螺旋升角。回转刀头的安装角度，在采用法向车削螺旋线时，有明显的优势。

弹性刀杆用弹性较好的弹簧钢制成，它的结构形式还有：在刀杆前端开设横槽，将宽刃的修光刀头或曲面刀头，水平放置在横槽内夹紧，进行修光或成形等多种形式的切削。

为调节弹性车刀或弹性刀杆的弹力，有时在弹性缝隙间塞入铜片、竹片等缓冲垫，使刀杆既能承受正常的切削应力，又能在非常状态时，发挥车刀的弹性优势，保护车刀的正常运行。

1. 车刀切削部分的组成

车刀切削部分的构成，通常以普通外圆车刀为例加以说明。车刀的切削部分一般由三面、两刃、一尖组成，如图 5-2 所示。

（1）三面　即前面、主后面和副后面。

1）前面。刀具上切屑流过的表面。

2）主后面。与工件上过渡表面相对的刀具表面。

3）副后面。与工件上已加工表面相对的刀具表面。

（2）二刃　即主切削刃和副切削刃。

1）主切削刃。前面与主后面的交线，又称主刀刃。它完成主要的切削工作。

2）副切削刃。前面与副后面的交线，又称副刀刃。它配合主切削刃完成切削工作，并形成工件的已加工表面。

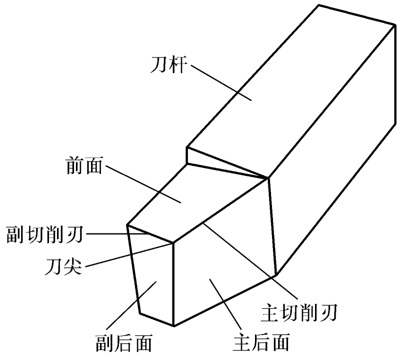


图 5-2　外圆车刀的切削部分

（3）一尖　即刀尖。刀尖是主切削刃和副切削刃的交点。通常它是测量刀具角度各参考基面的选定点。

由于车刀的用途和种类很多，其构造也有不同的变化。如切断刀和沟槽车刀，有两个副后面、两个副切削刃和两个刀尖；梯形螺纹车刀有两个主后面和两个刀尖；内孔车刀往往磨出两个后角，以避免后面与孔壁碰撞，而保持正常的切削后角，以及成形刀的主切削刃为非直线等变化。

（4）切削刃的功能变化　根据切削功能的需要，切削刃往往会产生一些变化。

1）刃口倒棱。在进行强力切削时，为提高切削刃的综合强度，往往在车刀的切削刃上磨出具有一定角度的倒棱，前面形式如图 5-3 所示。

图 5-3a 的正前角平面型车刀，虽然切削刃锋利，但强度低，传热能力差，多用于切削脆性材料，或用作精车刀或成形刀。

图 5-3b 为正前角平面带倒棱的车刀，沿着主切削刃磨出宽度为 b_{r1}，角度为 γ_{01} 的棱边。多用于粗加工铸件或进行断续切削。

图 5-3c 为带卷屑槽的正前角带倒棱的车刀，多在粗加工塑性金属时采用。

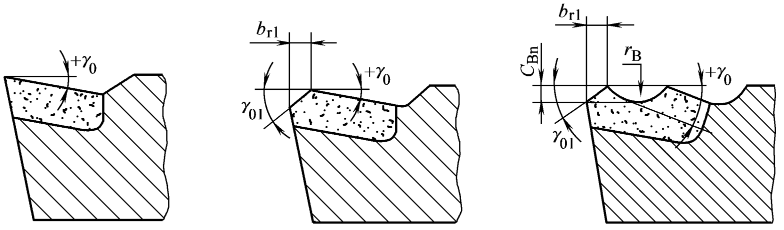


图 5-3　前面形式

在刃口上倒棱，可使切削刃厚重整洁，避免“缺口敏感”现象的发生，并增强刃口的抗冲击能力。倒棱角度为负时，称为负倒棱。

2）过渡刃和修光刃。为增大刀尖的强度，延长刀具的使用寿命，通常在刀尖附近设置过渡刃，如图 5-4 所示。图 5-4a 为折线形过渡刃，图 5-4b 为圆弧形过渡刃。

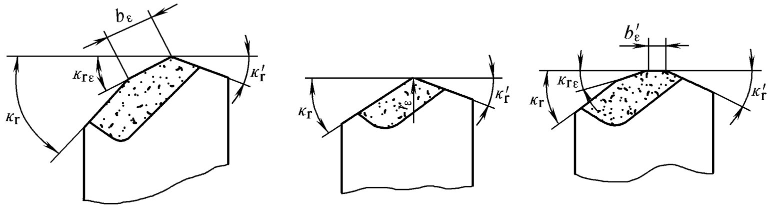


图 5-4　过渡刃和修光刃形式

a）折线形过渡刃　b）圆弧形过渡刃　c）修光刃

在精车时，为了减小表面粗糙度值，使过渡刃与进刀方向平行，即 $\kappa'_r=0$，形成修光刀，如图 5-4c 所示。它的特点是：修光的刃部较长，长度应是进给量 f 的 1.5 倍以上，即 $b'_\varepsilon>1.5f$。在修光刃的前端和末端均有过渡斜角或圆弧，使切削的残留面积减少，提高工件的表面质量。

2. 刀具的静止参考系

为确定刀具切削部分各部点、线、面的空间位置，人们人为地在非切削状态下建立参考辅助平面，作为定义在刀具设计、制造、刃磨和测量时的几何参数。刀具的静止参考系，如图 5-5 所示。静止参考系由以下辅助平面组成：

（1）基面 P_r　通过主切削刃的选定点并垂直于假定主运动方向 v 的平面。它平行于刀具在刃磨、测量和安装定位时的一个平面，并垂直于选定点切削速度的方向。

（2）主切削平面 P_s　通过主切削刃上的选定点与主切削刃的投影线相切，

并垂直于基面的平面。它是由切削速度 v 的方向和主切削刃的切线组成的平面。而通过副切削刃上的选定点与副切削刃的投影线相切，并垂直于基面的平面，称为副切削平面 P'_s。

（3）正交平面 P_o　通过主切削刃上的选定点，并同时垂直于基面和主切削平面的平面，称为正交平面 P_o，又称为主截面。而通过副切削刃上的选定点，并同时垂直于基面和副切削平面的平面，称为副正角平面 P'_o。

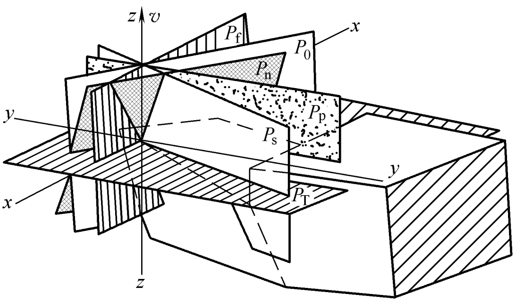


图 5-5　刀具静止参考系的参考平面

以上是在通常情况下建立的静止参考系，在特殊场合，也会发生变化。比如，在车削螺纹升角较大的螺纹时，往往采用主切削刃与螺纹升角相垂直的法向切削，这时基面平行于法向，而切削平面则与法相垂直等。

5.2.2　车刀的几何角度

车刀的几何角度分为标注角度和工作角度。标注角度是指在车刀图样上标注的角度，是在刀具角度的参考系中确定的；工作角度是指按照切削工作的实际状况而确定的角度。

1. 车刀的标注角度

标注角度或称刃磨角度，它是在不考虑进给运动的情况下，车刀的安装基准面平行于基面时的刀具角度。车刀的标注角度由六个独立的基本角度和几个派生的角度组成，如图 5-6 所示。

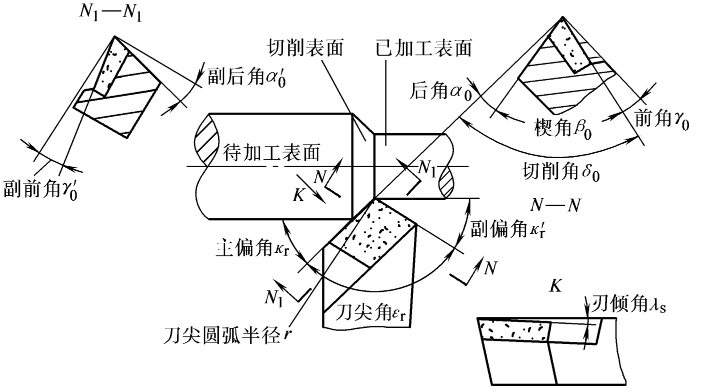


图 5-6　刀具的切削角度

（1）基本角度　六个基本角度的位置和作用是：

1）前角 γ_o。在正交平面内，前面与基面的夹角。前角影响切屑的变形程度和切屑与前面的摩擦力及刀具强度，在相同的条件下，前角增大，切削刃锋利，则降低切削力和切削热以及切屑与前面的摩擦阻力。但前角过大，会减少刀头的截面积，从而降低切削刃的强度和散热面积，使刀具寿命下降，甚至产生崩刃现象。

2）后角 α_0。在正交平面内，主后面与切削平面之间的夹角，可在剖面 N—N 内测量。后角影响主后面与工件间的摩擦力和刀具强度。增大后角，可减少主后面与工件的摩擦，改善加工的表面粗糙度。但过大的后角，会降低刀具强度，使散热条件变坏，影响刀具寿命。

3）主偏角 κ_r。主切削刃在基面上的投影与进给运动方向之间的夹角，在基面内测量。主偏角影响背向力 F_p 与进给力 F_f 的分配比例。当背吃刀量和进给量一定时，减小主偏角，可使切屑的厚度变薄，宽度变长，即参与切削的刃部变长，单位切削刃上的负载减小，这样既增加了刀头的强度和散热面积，提高了刀具的使用寿命，又在特殊的切削条件下，满足切削系统刚性的要求。

4）副偏角 κ_r'。副切削刃在基面上的投影与已加工表面（反进给方向）之间的夹角。在基面内测量。副偏角影响副切削刃与工件已加工表面之间的摩擦和已加工表面的粗糙度，以及刀具的散热状况和刀具的寿命。减小副偏角可减少工件表面的残留面积、增大散热面积。但过小的副偏角会增大切削力，容易产生振动。如果使副切削刃的局部偏差为零，则演化成修光刃，用于精加工。

5）副后角 α_0'。在副正交平面内，副后面与通过副切削刃并垂直于基面的平面之间的夹角，可在剖面 N_1—N_1 内测量。副后角可影响副后面与已加工表面的摩擦。

6）刃倾角 λ_s。在切削平面内，主切削刃与基面之间的夹角。刃倾角影响切削刃的受力状况，如图 5-7 所示。当刃倾角为正值时，刀尖位于主切削刃的最高点，在开始切削的瞬间，刀尖首先与工件接触，这样，在粗车硬皮材料或进行断续切削时，刀尖容易受到瞬时冲击而崩刃；当刃倾角为负值时，刀尖位于主切削刃的最低点，在切削瞬间，远离刀尖的部位首先接触工件，由于它的强度比刀尖高，则承受冲击的能力增强，改善了切削刃的受力状况。在切削断续表面时，负刃倾角的切削刃逐渐切入工件，车刀所受到的切削力逐步增加，从而减轻冲击力，使切削过程无振动地平稳运行。

刃倾角还能控制切屑排出的方向，如图 5-8 所示。当刃倾角为零时，主切削刃与基面平行，切屑沿垂直于主切削刃的方向排出；当刃倾角为正值时，切屑有流向待加工表面的趋势；当刃倾角为负值时，切屑有流向已加工表面的趋势，从而影响表面粗糙度。所以，一般情况下，精车时应选用正刃倾角，粗车时，则往

往选用负刃倾角。但对于内孔车刀的刃倾角，在应用上有些不同，待以后研究。

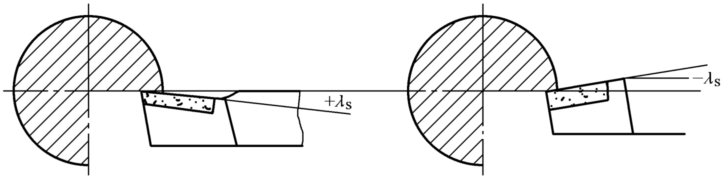


图 5-7　刃倾角影响切削刃的受力状况

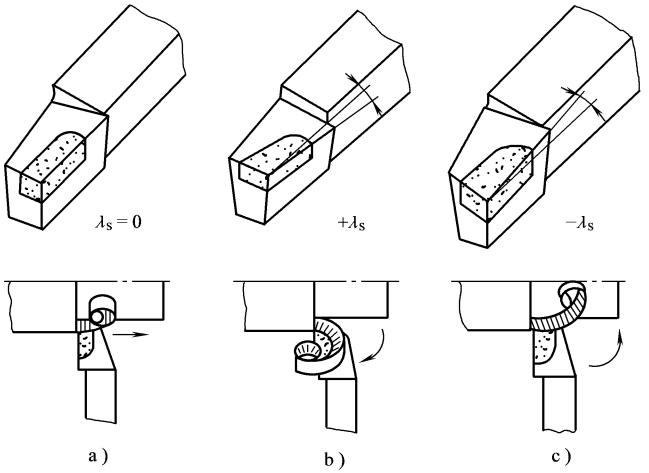


图 5-8　刃倾角控制切屑排出的方向

（2）派生角度　派生角度的位置和作用是：

1）楔角 β_0。在正交平面内，前面与主后面之间的夹角，也可在剖面 N—N 内测量。从图 5-6 看出，楔角 β_0 与前角 γ_0 和后角 α_0 的关系为

$$\beta_0 = 90° - (\gamma_0 + \alpha_0)$$

2）刀尖角 ε_r。主切削刃和副切削刃在基面上投影的夹角。刀尖角 ε_r 是由主偏角 κ_r 和副偏角 κ_r'决定的。它们的关系是

$$\varepsilon_r = 180° - (\kappa_r + \kappa_r')$$

3）切削角 δ_0。在正交平面内，前面与切削平面的夹角。它是刀具实际参与切削的角度。

切削角 δ_0 由后角 α_0 和楔角 β_0 决定，它们的关系是

$$\delta_0 = \alpha_0 + \beta_0$$

以上的角度都是由基本角度派生的，是确定刀头截面大小，衡量刀头的强度和散热状况的角度，它们与基本角度相互制约，相互影响。

2. 车刀的工作角度

在切削过程中，当车刀的实际安装状态和受进给运动的影响时，车刀的角度将发生变化，使车刀的工作角度与标注角度产生差异，从而影响正常的切削。车刀工作角度的影响因素有如下几个方面：

（1）车刀安装位置的影响　刃磨正确的车刀，在装夹时，如果安装位置与静止参考系产生偏移，在切削过程中，车刀的工作角度会发生变化。

1）当车刀安装面与主运动方向不垂直，如图 5-9 所示。这时，工作基面 P_{re} 与切削力方向不垂直，工作切削平面 P_{se} 与切削方向形成某一角度，从而引起车刀工作前角和后角的变化。当刀具下沁（如左图）时，使车刀的工作前角 γ_{oe} 比前角 γ_0 小，工作后角 α_{0e} 比后角 α_0 大；当刀具上翘时，如右图，则工作前角 γ_{0e} 增大，工作后角 α_{0e} 减小。

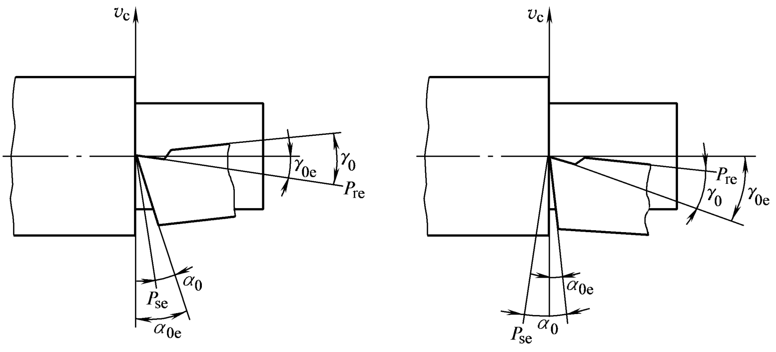


图 5-9　安装面与主运动方向不垂直

P_{re}—工作基面　P_{se}—工作切削平面　γ_{0e}—工作前角　α_{0e}—工作后角

2）当车刀轴线与进给方向不垂直，即车刀偏移时，会引起车刀工作主偏角 κ_{re} 和工作副偏角 κ'_{re} 的变化，如图 5-10 所示。主偏角变化除影响切削效果，有时还影响加工精度，如在车削各种螺纹时，车刀的安装偏移，使得螺纹半角不等，使工件报废。

3）车刀刀尖偏离工件侧母线，则工作基面 P_{re} 和工作切削平面 P_{se} 的位置相对于静止参考系发生倾斜，使车刀的工作角度发生变化，如图 5-11 所示。在车削外圆时，当车刀偏高时，如左图工作前角 γ_{0e} 增大，工作后角 α_{0e} 减小。在车削

内孔时，当车刀偏低时，同样会产生作前角 γ_{0e} 增大和工作后角 α_{0e} 减小的现象，如右图所示。内孔车刀工作后角 α_{0e} 变小，有时会使工作主后面接触工件内壁，影响正常切削。所以在刃磨或安装内孔特别是小直径内孔车刀时，应注意工作后角 α_{0e} 的变化引起的影响。

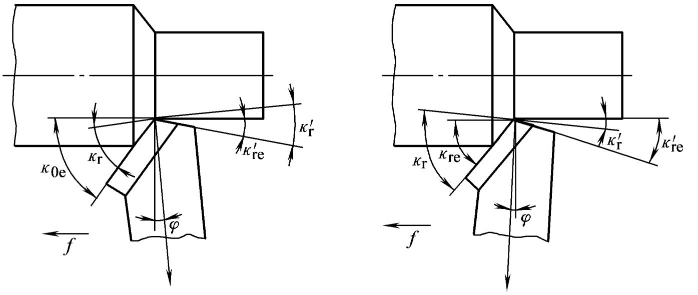


图 5-10　车刀轴线与进给方向不垂直

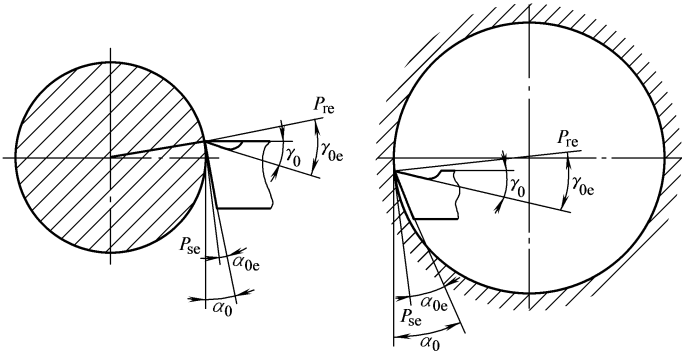


图 5-11　车刀刀尖偏离工件侧母线

车刀刀尖高度的偏离，有时还直接影响加工精度，如在车削圆锥面时，会出现双曲线，影响车削表面的直线度；当车床导轨产生误差时，车削圆柱面也会出现类似的状况。

（2）进给运动对工作角度的影响　以车外圆为例，如图 5-12 所示。车刀在进给运动中，由旋转主运动和车刀作纵向进给运动的合成运动所形成的加工表面实际上是阿基米德螺旋面，合成运动方向相对于主运动方向形成了一个螺旋升角 φ，因此工作基面 P_{re} 和工作切削平面 P_{se} 都将倾斜一个螺旋升角 φ，从而使车刀在工作时的工作前角 γ_{0e} 增大一个 φ 角，工作后角 α_{0e} 减小一个 φ 角，即 $\gamma_{0e}=\gamma_0+\varphi$，$\alpha_{0e}=\alpha_0-\varphi$。

在车削螺纹和蜗杆时，由于也存在着螺旋升角，为使左、右侧切削刃获得相同的工作角度，也必须分别在后角 α_0 上沿着螺旋升角的倾斜方向，分别增大或减小一个螺旋升角，如图 5-13 所示。

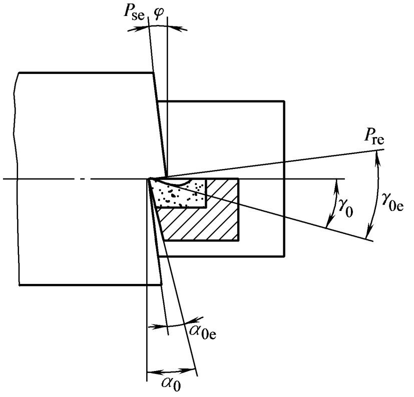


图 5-12　进给运动对工作角度的影响

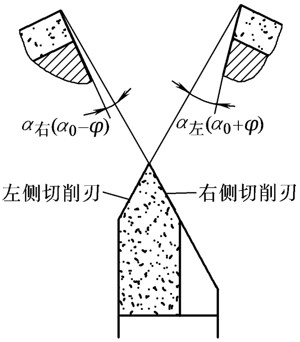


图 5-13　右螺纹车刀两侧刃后角

5.2.3　卷屑槽与断屑措施

在连续切削塑性较大的金属材料时，很容易产生带状切屑，它会无序地缠绕在工件上或刀具上，既影响工件的表面质量和切削效率，又危及操作者的安全。为此，采取各种有效措施，以控制切屑的形态和流向，达到切屑定向折断排出的目的。

控制切屑的主要措施

1. 开设卷屑槽

在车刀前面主切削刃附近开设卷屑槽是控制切屑的有效措施。

（1）卷屑槽的形状　卷屑槽的形状有直线圆弧形、折线形和全圆弧形几种，如图 5-14 所示。

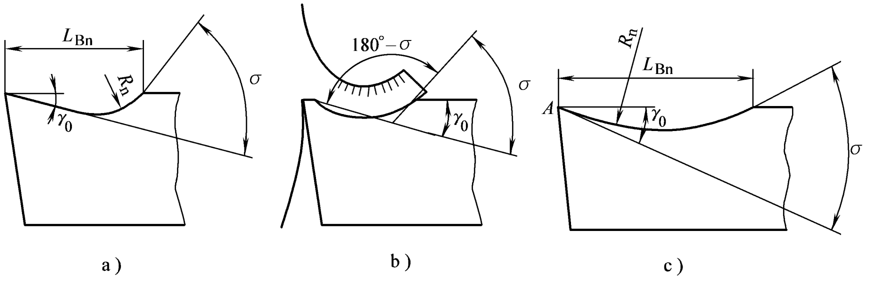


图 5-14　卷屑槽的形状

a）直线圆弧形　b）折线形　c）圆弧形

1）直线圆弧形。前端面为直线，与圆弧形反屑面相切。

2）折线形。前端面为直线，反屑面也呈直线，并用小圆弧连接。

3）全圆弧形。前端面与反屑面均由同一半径的圆弧面组成。

卷屑槽的前端面形成车刀的前角 γ_0，起着重要的切削作用；反屑面则控制切屑的形状、流向、卷曲或折断。直线圆弧形和折线形卷屑槽适用于加工碳素钢、合金钢和工具钢等；全圆弧形卷屑槽则适用于加工纯铜、不锈钢等塑性材料。全圆弧形卷屑槽的特点是刀尖强度较好。如图 5-15 所示的状况，当前角均为 $\gamma_0=20°$时，折线型卷屑槽的槽深为 h_1，而全圆弧形卷屑槽的深度只有 h_2，所以它比折线形卷屑槽的强度高。

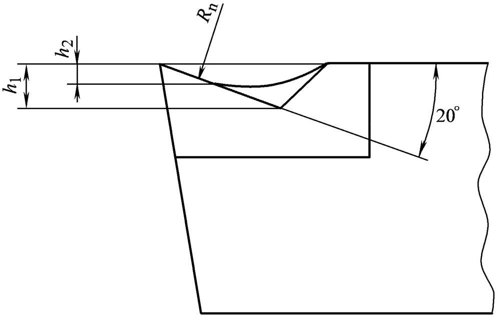


图 5-15　卷屑槽的刀尖强度比较

（2）卷屑槽几何参数的选择原则　卷屑槽的主要几何参数有宽度、反屑角和卷屑槽斜角。

1）宽度 L_{Bn}。卷屑槽宽度越小，切屑的卷曲半径越小，弯曲应力越大，切屑越容易折断。但是宽度选的过小，会使卷屑槽容屑的空间减小，会造成切屑堵塞而导致崩刃或切屑飞溅等不良现象。所以，应在保证断屑的前提下，选取较大的卷屑槽宽度。

通常，卷屑槽宽度 L_{Bn}应根据切削层公称厚度 h_D 选择，即

$$L_{Bn}=(10\sim13)h_D$$

2）反屑角 σ。反屑角是由反屑面末端切线与前角形成的夹角。增大反屑角，可使切屑的弯曲半径减小，弯曲变形和弯曲应力增大，从而切屑容易折断。但过大的反屑角，则切屑容易堵塞，排屑不畅，使切削力增大和切削温度升高。通常，反屑角的参考值按槽形选择：直线圆弧形 $\sigma=40°\sim50°$，折线形 $\sigma=60°\sim70°$，全圆弧形 $\sigma=30°\sim40°$。在实践中，还应根据工件材料、切削用量等因素，并经试切后确定。

槽形的圆弧半径 R_n 的大小也影响卷屑效果，一般取 $R_n=(0.4\sim0.7)L_{Bn}$。

3）卷屑槽斜角 τ。卷屑槽侧边与主切削刃之间的夹角称为卷屑槽斜角，它影响切屑的流向和槽形。根据斜角的走向，卷屑槽又分为平行式、外斜式和内斜式三种，如图 5-16 所示。

平行式卷屑槽的特点是卷屑槽的宽度和深度前后平行相等，切屑呈直筒状态，在碰到工件的过渡表面时折断。多在大背吃刀量切削时采用。

外斜式卷屑槽的宽度和深度是前宽后窄、前深后浅。在卷屑槽切削直径较大的部位时，槽窄而浅，由于切削速度较高，切屑从前面流出时，先碰反屑面，并以较小的弯曲半径弯曲；而切削直径较小、切削速度较低时，卷屑槽前端槽宽而

深，切屑则后碰反屑面，并形成较大的弯曲半径。切屑两端不同程度的变形，使切屑流向切削表面，与其相碰后折断，形成 C 形切屑。

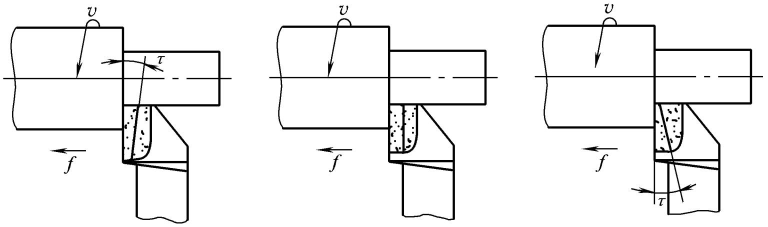


图 5-16　卷屑槽斜角

a）外斜式　b）平行式　c）内斜式

外斜式卷屑槽切屑变形大，断屑效果较好。一般在切削中碳钢时，卷屑槽斜角取 $\tau=8°\sim10°$；在切削合金钢时取 $\tau=10°\sim15°$。

内斜式卷屑槽的宽度和深度是前窄后宽、前浅后深。因此在切削速度较低的刀尖附近时，切屑以较小的弯曲半径先碰反屑面，并在逐渐加深的槽底斜面作用下，使切屑形成连续有序的长紧卷屑，卷曲到一定长度后靠自身的质量甩断。

内斜式卷屑槽一般取 $\tau=8°\sim10°$。由于切屑远离工件流出，多用于半精车或精车的场合。

2. 车刀角度的影响

在切削用量不变的情况下，车刀的主偏角 κ_r 和刃倾角对断屑的影响较为明显。

1）增大主偏角，使切削层变厚，切屑内外层的变形程度有明显的差异，从而引起切屑卷曲变形，而易于折断。

2）由于刃倾角可控制切屑的流向，当刃倾角为负值时，切屑流向已加工表面或过渡表面，形成“C”字形或“6”字形切屑；当刃倾角为正值时，切屑流向待加工表面或与后刀面相碰，形成“C”字形或管状切屑有序排出。

3）减小前角，或在主切削刃上磨出倒棱，也可加大切削变形，使切屑厚度增大，易于折断。

3. 切削用量的影响

一把刃磨和装夹都符合要求的车刀，如果改变切削用量，切削变形的程度会发生变化，因而会产生不同形式的切屑，从而影响断屑效果。切削用量对断屑影响最大的是进给量 f，其次是切削速度 v_c 和背吃刀量 a_p。

1）加大进给量，切削层变厚，增大了切削变形，降低了切屑的韧性，则容易折断。所以当车床额定功率受到限制时，可减小背吃刀量，加大进给量。

2）提高切削速度，产生的切削热使切屑变软而不易折断。所以，一般可适当降低切削速度，而相应地加大进给量和背吃刀量，并不影响切削效率。

3）增大背吃刀量，可引起切屑前后两端变形和弯曲程度的差异，从而降低切屑的韧性，对断屑有利。

总之，车刀角度和卷屑槽应与切削用量相匹配协调，才能取得理想的断屑效果。

必要时可在车刀前面的适当位置，设置挡屑板等断屑装置，强制切屑折断。

切屑除了折断排出外，在某些场合，比如在车削深孔时，由于受到工艺系统刚度的限制而不易断屑时，也可采取有序排屑的方法，使切屑按预定的方向排出，将在后面介绍。

5.3　车刀几何参数的合理选择

车刀切削部分的几何参数，主要是指车刀的刀面、几何角度和切削刃的形状和数值。合理选择车刀的几何参数和根据实际加工需要改进车刀的几何参数，是保证加工质量和正常的刀具寿命的前提下，提高生产效率和降低成本的有效途径。

5.3.1　选择合理几何参数的一般规律

（1）根据工件材料选择　工件材料的力学性能对车刀的几何参数有密切关系。常见的力学性能主要有：抗拉强度、抗弯强度、冲击韧度和硬度等。一般说来，材料的强度和硬度越高，塑性越大，则所用的切削力也越大。比如不锈钢比碳素钢大，碳素结构钢比灰铸铁大，灰铸铁比铝合金大等（参见表2-2），从而刀具所受到力的冲击也越大。为保证在切削不同材料时，车刀都具有足够的强度，应对车刀的几何参数进行调整。

1）切削强度和硬度较低的材料，如易切钢，应选取较大的几何角度，使切削刃部锋利，提高切削效率。

2）切削硬度较高的材料或断续切削时，应选取较小的几何角度，必要时应设置负刃倾角或负倒棱，以提高切削刃的强度。

（2）根据刀具材料的性质选择　硬质合金等刀具材料，其硬度和耐热性能良好，可以进行高速切削。但它们的不足之处是冲击韧度较差，不能承受较大的冲击和振动。而高速钢虽然硬度和耐热性相对较差，但其韧性较好。所以一般情况下，硬质合金刀具的几何角度应选得小一些，使切削部分敦实厚重，避免尖角锐边，以防止“缺口敏感”，提高刃口的强度。而高速钢则应选取较大的几何角度，保持刃口的锋利，在切削速度相对不高的条件，发挥综合性能较好的优势。

（3）根据加工内容和工艺条件选择

1）粗车加工和不连续切削时，应选取较小的几何角度，必要时可设置负刃倾角或负倒棱，以保证刃口的强度能承受较大的切削力。精车或半精车加工时，应选取较大的几何角度，采用过渡刃、修光刃等刃口形式，并使刃口锋利，以获得光洁的加工表面，降低表面粗糙度。

2）当工艺系统刚度较差时，应选取较大的几何角度，使切削轻快，以减小振动。

3）为保证尺寸和形状的精度要求，确定工件形状的车刀，如螺纹车刀、蜗杆车刀以及各种形状的成形车刀等，车刀的前角为零，并保证在重磨时，仍保持原来的精度。

5.3.2　车刀几何参数的选用原则及参考值

（1）前角和刃口倒棱　前面的切削面或卷屑槽形成刀具的前角。在切削过程中，前角影响切削变形和摩擦，又影响刀头的强度。增大前角，可减少切削变形和摩擦，从而减小切削力和切削热，提高表面质量。但过大的前角会降低刀头的强度和刀具的寿命。车刀前角的选择原则是：

1）切削强度和硬度较低的塑性材料时，应取较大的前角；切削强度和硬度较高或脆性材料时，应取较小的前角或负前角。

2）粗加工应取较小的前角；精加工或半精加工应取较大的前角。

3）工艺系统刚度较差时，选取较大的前角。

4）断续切削时，应取较小的前角，甚至负前角，并设置刃口倒棱等强化切削刃的措施。

5）为了提高刀具使用寿命和表面质量，往往采用折线形或圆弧形过渡刃。

6）在刀具强度许可的条件下，尽量选取较大的前角，以降低切削力和切削温度。

（2）后角和后面　后角的主要作用是减少后面与工件切削表面之间的摩擦。刀具后角的选择原则是：

1）切削强度和硬度较低的塑性材料时，应取较大的后角；切削强度和硬度较高或脆性材料时，应取较小的后角。

2）粗加工应取较小的后角，以确保刀具的强度；精加工或半精加工应取较大的后角，以保证表面质量。

3）工艺系统刚度较差时，选取较大的后角。

4）采用负前角的车刀，后角应取大些，以保证切削刃的锋利。

5）进刀量较大时，应取较大的后角。

高速钢车刀前角和后角的参考值见表5-5。

表 5-5　高速钢车刀前角和后角的参考值

工件材料		前角 γ_0/(°)	后角 α_0/(°)
钢和铸钢	σ_b = 400 ~ 500MPa	20 ~ 25	8 ~ 12
	σ_b = 700 ~ 1000MPa	5 ~ 10	5 ~ 8
镍铬钢和铬钢 σ_b = 700 ~ 800MPa		5 ~ 15	5 ~ 7
灰铸铁	160 ~ 180HBW	12	6 ~ 8
	220 ~ 260HBW	6	6 ~ 8
可锻铸铁	140 ~ 160HBW	15	6 ~ 8
	17 ~ 190HBW	12	6 ~ 8
铜、铝、巴氏合金		25 ~ 30	8 ~ 12
中硬青铜及黄铜		10	8
硬青铜		5	6
钨		20	15
铌		20 ~ 25	12 ~ 15
钼合金		30	10 ~ 12
镁合金		25 ~ 35	10 ~ 15

硬质合金车刀前角和后角的参考值见表 5-6。

表 5-6　硬质合金车刀前角和后角的参考值

工件材料		前角 γ_0/(°)	后角 α_0/(°)
结构钢、合金钢及铸钢	$\sigma_b \leqslant$ 800MPa	10 ~ 15	6 ~ 8
	σ_b = 800 ~ 1000MPa	5 ~ 10	6 ~ 8
高强度钢及表面有夹杂的铸钢 σ_b > 1000MPa		-5 ~ -10	6 ~ 8
不锈钢		15 ~ 30	8 ~ 10
耐热钢 σ_b = 700 ~ 1000MPa		10 ~ 12	8 ~ 10
变形锻造高温合金		5 ~ 10	10 ~ 15
铸造高温合金		0 ~ 5	0 ~ 15
钛合金		5 ~ 15	10 ~ 15
淬火钢 40HRC 以上		-5 ~ -10	8 ~ 10
高锰钢		-5 ~ 5	8 ~ 12
铬锰钢		-2 ~ -5	8 ~ 10
灰铸铁、青铜、脆性黄铜		5 ~ 15	6 ~ 8
韧性黄铜		15 ~ 25	8 ~ 12
纯铜		25 ~ 35	8 ~ 12
铝合金		20 ~ 30	8 ~ 12
纯铁		25 ~ 35	8 ~ 10

刃口倒棱前角和倒棱宽度参考值见表 5-7。

表 5-7　刃口倒棱前角和倒棱宽度参考值

刀具材料	工件材料	倒棱前角 γ_{01}/(°)	倒棱宽度 b_{01}/mm
高速钢	结构钢	0~5	(0.8~1.0)f
硬质合金	低碳钢、不锈钢	−5~−10	≤0.5f
	中碳钢、合金钢	−10~−15	(0.3~0.8)f
	灰铸铁	−5~−10	≤0.5f

(3) 主偏角、副偏角、过渡刃和修光刃　改变主偏角的大小，可改变切削层宽度 b_D 和厚度 h_D 以及进给力 F_f 和背向力 F_p 的比例，从而影响总切削力 F 的大小和方向以及刀具强度和切削的稳定性和断屑效果。主偏角的选择原则是：

1) 切削强度和硬度较高的材料时，为减小切削刃的单位负荷，增强刀尖强度和改善散热条件，应取较小的主偏角。

2) 工艺系统刚度较好时，选取较小的主偏角。

3) 粗加工时，一般选择较大的主偏角，以减轻振动，提高刀具寿命。

4) 刚度较差的工件，如细长杆，在粗车时应选取较大的主偏角，以减小径向切削力；但在使用跟刀架精车或半精车细长杆时，应采用较小的主偏角或适宜的过渡刃，以增加相应的径向切削力，使工件表面紧贴跟刀架卡爪。

副偏角影响工件的表面粗糙度和刀具强度。它的选择原则是：

1) 在切削强度和硬度较高的材料或断续切削时，为增强刀尖的强度，应选取较小的副偏角。

2) 工艺系统刚度较好时，选取较小的副偏角；工艺系统刚度较差时，选取较大的副偏角，以减小副刀后面与已加工表面的摩擦。

3) 通常在不产生振动的情况下，尽量选取较大的副偏角，以提高刀具强度和散热能力。

4) 粗加工时，为了减小副切削刃的切削作用，应选取较大的副偏角；精加工时，可采用过渡刃与进刀方向平行，即副偏角为零的修光刃，使工件表面达到需要的粗糙度值。

过渡刃的选择原则是：常用的车刀常磨出较小的圆弧过渡刃，以增加刀尖强度和提高工件表面质量。当切削强度和硬度较高的材料时，过渡刃的尺寸可相应加大。

主偏角、副偏角参考值见表 5-8。

表 5-8　主偏角、副偏角参考值

适用范围 加工条件	加工系统刚性足够，加工淬硬钢、冷硬钢	加工系统刚性较差，粗车、强力车削	加工系统刚性差，加工台阶轴、细长轴，多刀车、仿形车	切断、切槽	修光
主偏角 κ_r/(°)	10～30	60～70	75～93	≥90～	10
副偏角 κ_r'/(°)	5～10	10～15	6～10	1～2	0

（4）刃倾角　刃倾角可影响切削刃的强度和切屑的流向。当 $\lambda_s \neq 0$ 时，还可减小切削力。刃倾角的选择原则是：

1）粗加工时，为增加切削刃强度，应取副刃倾角；精加工时，为避免切屑流向已加工表面，保证加工表面质量，应取正刃倾角。

2）加工高硬材料时，为提高刀具强度，应取副刃倾角。

3）冲击负荷较大的断续切削，应取较大的负刃倾角，以保护切削刃。

4）铰刀、丝锥等内孔加工刃具的刃倾角应根据孔的性质决定。当通孔时，为使切屑向前排出，应采取负刃倾角的左旋槽的刃具；当不通孔时，应采取正刃倾角的右旋槽的刃具，使切屑向后排出。

硬质合金车刀刃倾角参考值见表 5-9。

表 5-9　硬质合金车刀刃倾角参考值

工 件 材 料	合理刃倾角 λ_s/(°)	
	粗　　车	精　　车
低碳钢	0	0～5
中碳钢	−5～0	0～5
铸铁件、中碳钢断续切削	−10～−5	0～5
不锈钢	−5～0	0～5
45 钢淬火 40～50HRC		
灰铸铁、青铜、脆黄铜	−5～0	0
灰铸铁断续切削	−15～−10	0
铝及铝合金、纯铜		

5.3.3　内孔车刀的特殊性分析

车刀几何参数的应用往往是以车削外圆的状况进行研究的。在车削内孔时，由于内孔车刀刚度较差和切削中排屑空间较小等特殊原因的限制，内孔车刀与外圆车刀的几何参数在应用上有很大的差别。下面就内孔车刀的特殊性，以图 5-17 为例进行分析和研究。

内孔车刀的形体特征

（1）主偏角（κ_r）

1）车削通孔的内孔车刀，为使切屑向车床主轴孔方向有序排出，采用 $\kappa_r=60°$以上的主偏角，以减小切削力对内孔车刀的径向力。

2）车削不通孔时，为使切屑向背离进刀方向排出，内孔车刀往往采用 $\kappa_r \geq 90°$ 的主偏角，使切削部分的几何形状与外圆车刀的形式相同，只是刀尖处于刀杆的最前端，使排屑的空间狭窄，切屑易于在切削区盘挤，使排屑不畅。所以，还应在相应的刃倾角和卷屑槽形式上予以配合，才能达到预期的排屑效果。

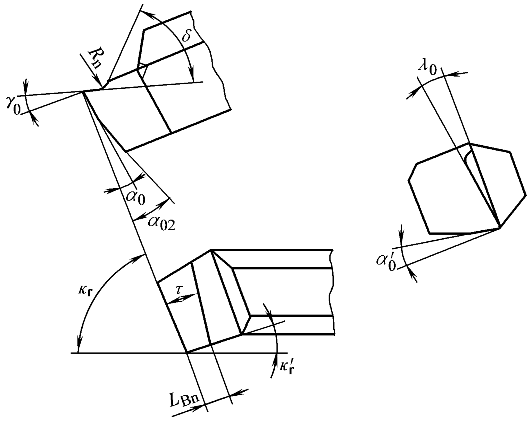


图 5-17　内孔车刀的特殊性

（2）刃倾角（λ_s）

1）刃倾角有影响切屑流向趋势的作用。在车削内孔时，由于孔壁向内弯曲，使切削区域相对狭窄，从而使排屑受到空间的限制。所以，在车削直径不太大的内孔时，内孔车刀应选择正值刃倾角，切屑流向待加工表面，从而使排屑空间相对宽敞，并在卷屑槽形状的配合下，使切屑尽量快速远离孔壁。

2）丝锥、铰刀等内孔刃具，也是利用刃倾角的特点，选择不同方向的螺旋槽。当加工通孔时，可采用左旋槽，形成负值刃倾角，使切屑向前排出；当加工不通孔时，可采用右旋槽，使切屑从后面排出。钻头就是设置的右旋槽，可使切屑从后面排出。

（3）卷屑槽　主偏角、刃倾角以及进给量确定之后，卷屑槽的形状则决定着切屑的形态。

1）卷屑槽半径（R_n）。卷屑槽越小、越深，可使切屑的弯曲半径减小，从而因增大弯曲应力而容易折断。

2）卷屑槽斜角（τ）。卷屑槽斜角直接决定切屑的流动方向。在切削不通孔时，为引导切屑向刀具进给量的反方向流出，应选用外斜式卷屑槽。在切削通孔时，则选用内斜式卷屑槽。那么，在采用正值的刃倾角时，卷屑槽呈前高后低、前窄后宽、前浅后深状态。这样，在因直径较大、从而切削速度较高的刀尖处，切屑从前角流出后，首先与反屑角相碰，并在前端窄而浅的卷屑槽引导下，形成较小的弯曲半径；而在切削直径较小的后端，则因宽而深的卷屑槽，使切屑形成较大的弯曲半径，从而形成螺旋状长紧卷屑。

3）卷屑槽宽度（L_{Bn}）。卷屑槽宽度决定切屑的卷曲半径的大小，一般应与切削层厚度及背吃刀量相适应。卷屑槽宽度越小，切屑的弯曲半径越小，承受的弯曲变形越大，越容易折断。在内孔车刀的刚度较差的条件下，应选取较大的卷屑槽宽度。

4）反屑角（σ_{Bn}）。反屑角决定切屑的变形程度，反屑角越大，使切屑弯曲半径减小而容易折断。反屑角由卷屑槽形式和预定的排屑方式决定。在切削内孔时，为获得断屑效果，应选用较大的反屑角；为获得连续长紧卷屑，就应选择较小的反屑角，使切削变形适中，而有序排出。

（4）主后角（α_0）　为防止内孔车刀主后刀面与孔壁相碰，在车削直径不太大的内孔时，应磨成两个后角，即主后角 α_0 在保持正常的切削状态下，再在正常后角的下端磨出另一个后角 α_{02}。

（5）副偏角（κ_r'）　应尽量减小副偏角，以增大切削部分的强度和散热面积。

5.4　车刀手工刃磨技术

手工刃磨切削刀具是车工切削操作的突出特点。无论机床或工艺管理如何先进，车工，特别是机床维修、模具制造以及产品试制等从事单件生产的车工，必须根据工艺需要，刃磨各式各样的车刀。所以车工不但应具有熟练的车床操作技能，还应掌握车刀的手工刃磨技术。

5.4.1　准备工作

1. 选用砂轮

（1）砂轮的特点　砂轮中含有大量的微小砂粒，由陶瓷结合剂等粘接而成。它的力学性能是：

1）硬度高，能顺利地磨削所有的金属材料。

2）热稳定性好，在较高的工作温度下仍保持原有的切削性能，可在很高的切削速度下工作。

3）脆性大，受到一定的冲击就会脆裂。因此，在使用砂轮时，应特别注意安全。

（2）砂轮的种类　根据刀具材料选择砂轮。常用的砂轮有两种：

1）氧化铝砂轮。氧化铝砂轮的主要成分有氧化铝等，它的特点是比较锋利但硬度较低，适用于刃磨高速钢刀具和碳素钢制成的刀体。

2）碳化硅砂轮。碳化硅砂轮的主要成分有碳化硅等，一般呈绿色，它的硬度较高，但脆性大，适用于刃磨硬质合金等。

（3）砂轮的粒度　砂轮的粗细以粒度表示。粒度号越大，则说明砂轮越细，

如 F120 比 F36 细小等。粗磨车刀一般选用 F80 或 F60 的粗粒度砂轮，以提高刃磨速度；精磨车刀则选用 F80 或 F120 的细粒度砂轮，以获得光洁的刀面。

2. 修整

修整的主要内容有：

（1）试开车　先手盘砂轮机缓慢转动，看有无障碍物，再从点动开车到全速开车，观察砂轮机运转状况是否正常。

（2）修整砂轮圆周表面　当砂轮外圆表面有严重不平或凹坑现象时，应采用砂条等修整工具对砂轮进行修整，如图 5-18 所示。修正的方法是，在砂轮运转时，先将砂条对准凸出的高点稍加用力，将高点大体削平后，沿砂轮外圆表面来回做平行移动。直到表面平整后，再轻轻用力，将表面修整齐平。

如有需要，可修整砂轮圆角，以做之后刃磨卷屑槽时使用。

（3）调整砂轮机托架　松开托架的紧固螺钉，根据刃磨的需要，调整托架角度，一般将托架前端向下转动 8°～10°，如图 5-19 所示。再使托架向前移动，使托架与砂轮的距离调至 2mm 左右，用手缓慢转动砂轮，符合要求后紧固，待用。

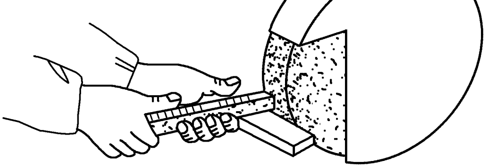


图 5-18　用砂条修整砂轮

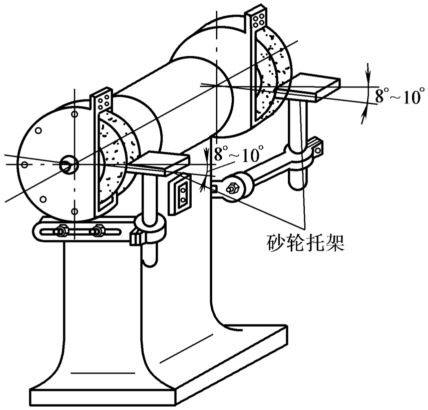


图 5-19　砂轮机

5.4.2　手工刃磨操作程序

手工刃磨车刀就是根据所掌握的车刀知识，亲自动手，刃磨出符合切削工艺需要的车刀来。

1. 刃磨的一般程序

1）检测并修整车刀刀体的底平面。在车刀的静止参考系中，刀体的底平面与基面 P_r 平行，是刃磨、检测和安装车刀的基准面，所以必须平直光洁，一般可用锉刀等刃具修平。当其平直度很差时，应采用铣削铣平。

2）当刃磨硬质合金车刀时，先用氧化铝砂轮刃磨刀体切削端突出于刀片的部位，粗磨前面、以及主后面和副后面的刀体后角，即后隙角，使它比刀片上的

设计后角大 2°～3°，以便于刃磨刀片的后角。

3）粗磨主后面和副后面，先粗磨主偏角并兼顾后角，后粗磨副偏角并兼顾副后角。刃磨硬质合金车刀时应改换成碳化硅砂轮。

4）粗磨前面。根据预设的前面形式，粗磨前面相对于基面的倾斜角，特别关注刃倾角的方向和角度。

5）精磨主后面，达到主偏角和后角的技术要求。

6）精磨副后面，达到副偏角和副后角的技术要求。

7）精磨前面，达到刃倾角走向和角度以及表面光洁的技术要求。

8）当切削塑性材料时，确定车刀前角以及断屑槽的形状、位置和参数的大小。

9）刃磨刃口倒棱以及过渡刃。

10）用磨石鐾刀。在不改变车刀几何参数的前提下，对车刀的面、线、点各部用磨石进行研磨，以矫正刃磨缺陷，降低车刀的表面粗糙度值。

2. 手工刃磨的现场操作

以图 5-20 所示的车削中碳钢的硬质合金 90°外圆车刀为例，解读现场手工刃磨车刀的步骤和方法。

1）去除各处焊渣等突出物，修平刀体底平面。

2）用氧化铝砂轮粗磨刀体部分的主后面和副后面，使后角和副后角均大于刀片上的角度。

3）改用碳化硅砂轮粗磨主后面。刃磨时，右手紧紧握住刀体前端，左手握住刀体末端，尽量增大跨度，以保持刀体的受力均衡和掌握移动的平衡，如图 5-21 所示。

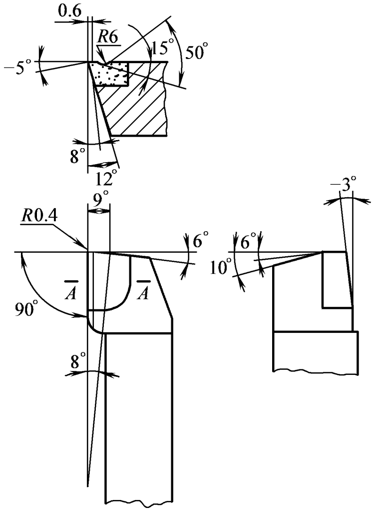


图 5-20　手工刃磨现场操作用图

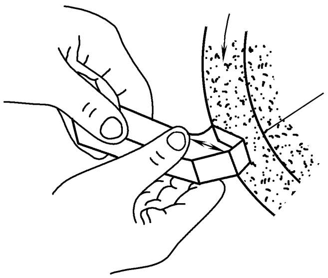


图 5-21　粗磨主后面

粗磨主后面应兼顾对主偏角和后角的控制，所以应强调几个动作的协调：

①在刃磨时，应使刀体纵向平行于砂轮外圆状态下，刃磨主切削刃，以保证车刀90°的主偏角。

②把车刀向外倾斜约12°的角度，使刀体后角确定的屏幕与砂轮外圆相切，以获得基本正确的后隙角。

③在以上两种状态下，平稳并缓慢地向砂轮外圆靠近，并在适当压力下，向前平行推进的同时，缓慢均匀地进行左右平行移动，以获得平直的主切削刃。

4）粗磨副后面。粗磨副后面应兼顾副偏角和副后角两个角度。刃磨时，双手紧握刀体，在使主切削刃与砂轮轴向形成6°的副偏角的同时，将刀体向下倾斜约10°的副后面的后隙角，在这种状态下，以适当的压力平行向前推进，并均匀地左右平行移动，如图5-22所示。

5）刃磨前面。左手握紧刀体前端，右手支承刀体末端，使前面与砂轮外侧面形成－3°的刃倾角，将前面磨平，从而形成基本的主切削刃和副切削刃，如图5-23所示。

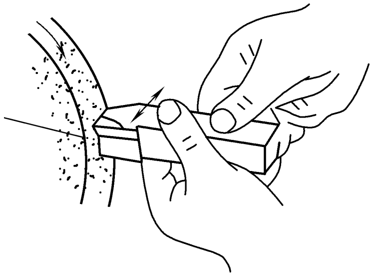


图5-22　粗磨副后面

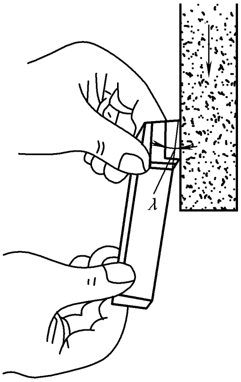


图5-23　刃磨前面

6）精磨主后面和副后面。双手前后握住刀体，分别以粗磨形成的主后面和副后面为基面，轻轻接触砂轮外侧面，见到轻微的火花后，慢慢来回平行移动，使得两切削刃平直，如图5-24所示。但是，不应磨去太多，使得切削刃下方形成1mm左右的宽条即可。这样，中间留有粗磨时砂轮外圆的内凹面，上下两端凸起窄条形成稳定的研磨平面。在鐾刀时，使磨石移动平稳，研磨力也容易集中在切削刃处，以便于对切削刃的研磨。

7）刃磨卷屑槽。刃磨卷屑槽就是在刃磨卷屑槽形状的同时，磨出车刀前角和卷屑槽的几何尺寸。其操作要点是：

①将砂轮外圆与外侧面的交角处修整成$R6$的圆角。

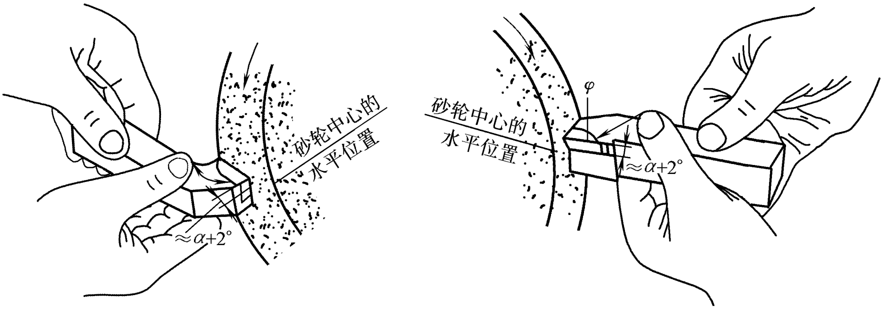


图 5-24　精磨主后面和副后面

a）精磨主后面　b）精磨副后面

②刃磨时，刀尖向下磨或向上磨均可。但为便于观察，一般采用刀尖向上的刃磨方法，如图 5-25 所示。

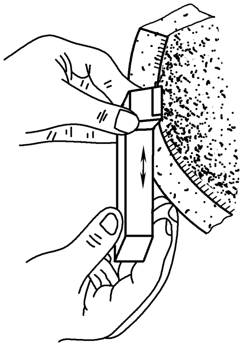


图 5-25　刃磨卷屑槽

③左手紧握刀体头部，右手支承在刀体尾部，将主切削刃靠近砂轮圆角的外侧，并与砂轮的旋转方向平行。

④将砂轮圆角对准主切削刃内相应的位置上，顺着刃倾角磨出与主切削刃平行的浅圆弧的直线。

⑤沿直线由内到外，逐渐加大刃磨力度，形成逐渐加深，逐渐加宽的圆弧槽。

⑥圆弧槽的深度刃磨相当后，双手沿车刀前角方向平行向内移动，以形成均匀的车刀前角 $\gamma_0=15°$，并使主切削刃留有 0.1～0.2mm 的均匀刃口。

⑦再使车刀沿着卷屑槽斜角方向向外移动，以保证斜角 $\tau=8°$、槽宽 $L_{Bn}=9mm$、反屑角 $\sigma=50°$。

⑧刃磨负倒棱。主切削刃平行于砂轮外侧面，刀体沿顺时针方向扭转一个角度。在这种状态下，主切削刃轻轻靠近砂轮，待出现火花后，慢慢平行移动，使主切削刃形成宽为 0.6mm、$-5°$的负倒棱，如图 5-26 所示。

⑨刃磨过渡刃。刀体与砂轮外侧面成 45°角，刀尖的纵向棱线与砂轮外侧面平行，并慢慢与砂轮接触，当出现火花后，轻轻地回转刀体，使刀尖逐渐形成 $R0.4$ 的过渡刃，如图 5-27 所示。

5.4.3　刃磨车刀安全常识

由于砂轮脆性较大，在猛烈地冲击下容易碎裂，高速飞失的碎片对人体会造成致命的伤害。因此，在刃磨车刀时，必须充分了解安全常识，严格遵循安全规则。其主要内容有：

1）砂轮必须有防护罩，严禁使用没有防护罩的砂轮，以减小砂轮碎裂对人体的伤害。

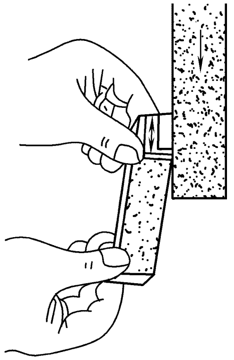


图5-26　刃磨负倒棱

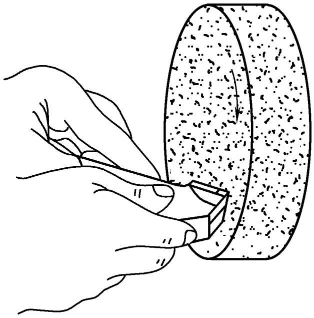


图5-27　刃磨过渡刃

2）砂轮托架与砂轮旋转外圆的间隙应小于3mm，以防止车刀嵌入，蹩碎砂轮。

3）刃磨车刀必须戴好防护眼镜。

4）刃磨时应站在砂轮侧面，以躲避意外的正面袭击。

5）刃磨时应双手紧握车刀，用力均衡，循序渐进，并左右平行移动，以保证刃磨面的直线度和砂轮磨损的均匀性。

6）一片砂轮不可两人同时使用。

7）在刃磨高速钢车刀时，应随时用水冷却，使车刀切削部位总保持在相变温度以下，以防止退火变软；刃磨硬质合金车刀时，则不可将高温的刀头放入水中，以防止急剧的温度变化，引起硬质合金的碎裂。

8）刃磨结束后，应及时关闭电源后再离开砂轮机。

5.4.4　磨石鐾刀技术

用来刃磨车刀的砂轮是由粘结剂将颗粒状的磨料粘接而成的，形状各异、排列无序的磨粒凸凹不平地分布在砂轮的外表面上。所以，磨出的车刀表面必将存在一些缺陷。因此，车刀在刃磨后，还必须用磨石对刃磨面进行研磨，即鐾刀。

1. 鐾刀的作用

（1）鐾刀可降低车刀刃磨面的表面粗糙度值　车刀在刃磨过程中，由于砂轮在原始状态下，或在磨损脱粒后，均呈现无序的高低不一状态，在车刀刃磨表面划出凸凹不平的沟痕，在刃口处表现最为明显。如果在放大镜下观察，将会看到细微的缺口形成锯齿状，分布在切削刃上，特别是在刃磨较脆的硬质合金车刀时，尤其明显。这样粗糙的车刀，切削刃极易磨损，而且严重影响表面质量。因

此，必须用磨石对刀面进行研磨，以降低刀面的粗糙度值，改善切削刃的抗磨损能力，提高刀具的使用寿命，保证产品质量。

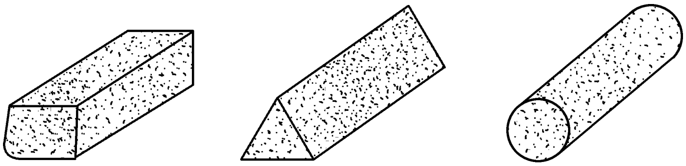
（2）鐾刀可提高车刀刃磨面特别是切削刃的直线度　由于砂轮各磨削面不具有较高的直线度，即使是平行左右移动，也不可能获得直线度较好的刃磨面。所以，当车刀刃口要求有较高的直线度时，如修光刃、螺纹车刀的刃口等，都应在降低表面粗糙度值的鐾刀过程中，兼顾刀口刃部的直线度。而在各种成形车刀刃磨后，也应通过鐾刀进行修整，使刃口形状正确，表面光滑。

2. 鐾刀的基本方法

（1）磨石的选用　鐾刀时应选用合适的磨石，磨石材料和磨石形状均应满足要求。

1）磨石材料。与砂轮一样，磨石一般有两种，即氧化铝磨石和碳化硅磨石。但磨石的粒度极细，可消除刃磨后的残留痕迹。选用磨石材料也和选用砂轮一样，在鐾刀高速钢车刀时，选用氧化铝磨石，鐾硬质合金刀时，应选用碳化硅磨石，两者不可混用。

2）磨石形状。磨石的形状应根据车刀的几何形状选择。磨石的形状一般有端面为矩形、三角形、圆形等的长条，如图 5-28 所示。其中矩形磨石用于鐾磨平面，用的较多，为方便使用，往往将矩形磨石的 1 ~3 个角修磨成大小不同的圆角，以备鐾光卷屑槽之用。



a）　　b）　　c）

图 5-28　几种磨石的形状

a）矩形磨石　b）三角形磨石　c）圆形磨石

（2）现场操作方法　通常将车刀夹持在台虎钳上或车床刀架上鐾刀。下面以鐾磨硬质合金车刀的主后面为例，对鐾刀程序加以说明：

1）将刃磨好的车刀装夹在车床刀架的正确位置上。

2）在车刀主后面和磨石表面加少许润滑油。

3）选用矩形碳化硅磨石。双手食指并拢托住条形磨石低端，双手拇指并拢压在磨石上端，指尖特别是拇指尖严禁探出研磨面，以防止刀刃割伤。

4）使磨石表面紧贴主后面，双手施侧压，通过磨石垂直压向主后刀面，作上下平稳移动。

5）当磨石由切削刃向下移动时，双手施加压力，磨石返回时，减去压力，以防止切削刃受损，如图 5-29 所示。

6）磨石在上下移动时，也可同时作左右移动，以弥补磨石表面的平面度和直线度误差。

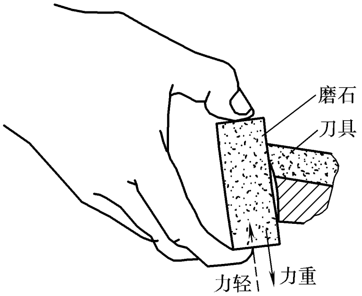


图 5-29　鐾后面示意

5.4.5　车刀磨损状况分析

在车削过程中，车刀与工件或切屑在切削区域经受强烈的冲击和摩擦，使锋利的切削刃产生磨损现象。当车刀磨损到一定程度时，如不及时进行重磨或更换，会使切削力增大，切削温度升高，表面粗糙度值加大，从而影响加工精度、切削效率和生产成本。因此分析和研究车刀的磨损状况，设法缓解车刀的磨损程度，提高车刀的使用寿命，有重要的实际意义。

1. 车刀的磨损形式

车刀的磨损形式分正常磨损和非正常磨损两种。

（1）正常磨损　正常磨损是指车刀在切削过程中，后面和前面分别与工件表面和切屑发生剧烈摩擦，同时承受着很高的温度和压力状态下发生的。因此，车刀的正常磨损主要发生在后面和前面，主要有以下三种形式，如图 5-30 所示。

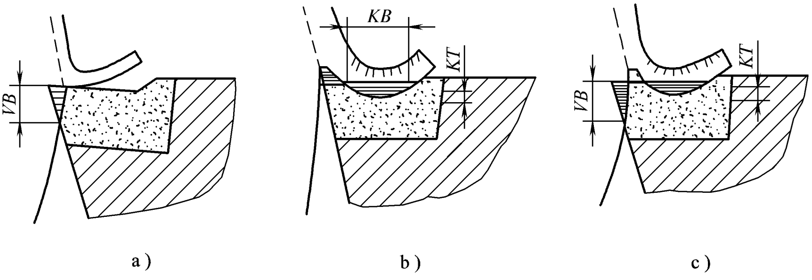


图 5-30　刀具的磨损形式

a）后面磨损　b）前面磨损　c）前、后面同时磨损

1）后面磨损。后面磨损主要发生在与切削刃相邻的后面上，如图 5-30a 所示。后面磨损后，形成后角 $\alpha_0 \leqslant 0°$ 的棱面，使切削力增大，切削温度增高，工件表面质量降低。后面磨损往往是不均匀的，在刀尖部位，由于强度和散热条件较差，并靠近工件表面，所以磨损较大，其他部位则比较均匀。它的平均磨损程度一般用棱面高度 *VB* 表示。

后面磨损一般在切削如灰铸铁等脆性金属材料和以较小的切削厚度（a_c < 0.1mm）切削塑性金属材料的情况下发生的。因为在这些情况下，前面与切屑的接

触面较小，所承受的切削压力和摩擦力都不大，故车刀的磨损主要发生在后面上。

2）前面磨损。在采用较高的切削速度和较大的切屑厚度切削塑性材料时，车刀磨损主要集中在前面上。切屑从前面流出，由于高温、高压的强烈摩擦作用，使前面与切屑摩擦最为剧烈的切削刃口附近磨出宽为 *KB*、深为 *KT* 的月牙洼，如图 5-30b 所示。

在初始阶段，一般不影响正常切削，可不必修磨。但随着切削的连续进行，使月牙洼的宽度和深度逐渐增大，并向刃口扩展，当扩展到刃口边缘时，使切削刃的强度降低，极易导致崩刃的现象发生。

3）前、后面同时磨损。这时介于前面磨损和后面磨损两种形式之间的磨损形式，前面的月牙洼和后面的磨损棱面同时产生，如图 5-30c 所示。

这种磨损发生的条件介于以上两种磨损之间，即在加工塑性金属材料时，切削厚度 a_c 在 0.1～0.5mm 和中等切削速度的情况下发生的。出现这种情况，应及时修磨后面，前面是否修磨，则根据实际情况确定。

为便于测定车刀正常磨损的磨损程度，通常都按后面磨损棱面的高度 *VB* 表示。

（2）非正常磨损　非正常磨损是指车刀由于受到意外的冲击、振动及热效应等原因出现崩刃、碎断或卷刃等现象，常见的形式主要有以下几种形式：

1）破损。在切削刃或刀面上产生裂纹、崩刃或碎裂，导致车刀完全报废的现象，称为破损。硬质合金刀片由于质地较脆，容易产生细微的裂纹，并逐渐扩大而破损。高速钢车刀则因车刀几何参数或切削用量选择不当使车刀破损的。

车刀的破损现象主要发生在以下几种情况下：

①硬质合金车刀在焊接、刃磨或工作状态下，由于受到热胀冷缩或剧烈冲击等物理现象各因素的影响，极容易产生细微的裂纹，并随着连续的切削而逐渐扩大和延伸，最终导致车刀破损。

②切削用量选择过大，切削功率超过车床允许范围时，产生闷车，使车刀崩刃破损。

③在加工深孔或切断工件时，如果车刀几何参数，特别是卷屑槽形式选择不当，导致排屑不畅，切屑无序地缠绕在车刀和工件已加工表面的缝隙中，使刚度较差的内孔或切断刀的刀头断裂。

④在车削螺距较大的螺纹时，会因进刀量不均或切削刃磨钝等因素，产生“扎刀”现象。严重时，既损坏刀具，也可能使工件报废。

2）卷刃。在切削过程中，切削刃部或刀面产生塌陷或局部产生塑性变形的现象，称为卷刃。卷刃现象主要发生在以下几种情况下：

①硬度较低的车刀切削硬度较高的工件。

②切削温度超过了刀具材料的耐热温度。如高速钢刀具，当切削温度超过它

的相变温度时，使车刀硬度下降产生卷刃，失去切削能力。

2. 车刀磨损的原因

车刀在高温和高压的工作条件下，受到机械、物理、化学等方面的综合作用而产生磨损。车刀磨损的主要原因有如下几个方面：

（1）磨粒磨损　在工件材料内或切屑中含有一些比刀具材料硬度更高的硬质点，如碳化物、氧化物、氮化物和脱落的积屑瘤碎片等硬粒，它们在切削过程中，在刀具表面上刻划出深浅不一的沟痕，造成刀具的机械擦伤，所以又称为机械擦伤磨损。

（2）扩散磨损　在高温状态下，刀具与工件、切屑的新鲜切削表面相接触，使刀具材料和工件材料中的合金元素相互扩散。如硬质合金表层的钴、钛、钨等扩散到切屑中去，而切屑中的铁元素也会扩散到硬质合金刀具的表层，改变了刀具表层的化学成分，使其硬度和强度明显下降，从而加剧了刀具的磨损。

扩散磨损是一种化学性质的磨损，一般与切削温度有关。硬质合金刀具与碳钢产生显著扩散作用的温度是：

YG 类：约 850 ~ 900℃

YT 类：约 900 ~ 950℃

（3）粘接磨损　在切削塑性金属材料时，刀具在较大的正压力和一定的温度（300 ~ 400℃）作用下，切屑与前面或工件与后面之间的吸附膜遭到破坏，形成新鲜的表面而紧密接触。这样切屑在沿前面流动时产生很大的摩擦力，使得切屑底层出现滞留现象，导致切屑和从工件上散落的金属碎块，不断地冷焊在切削刃部，从而发生粘接现象。而接触面间切屑不断地相对运动，又导致粘接处产生撕裂，使刀具表面的微粒被切屑带走，从而使刀具磨损。

粘接磨损又称冷焊磨损，一般在中等偏低的切削速度下容易产生。用 YT 类硬质合金车刀加工钛合金或含钛的不锈钢等较难加工的材料，也会产生粘接磨损。这种磨损大规模发生时，会导致崩刃的现象发生。

（4）相变磨损　相变磨损是指切削温度升高到刀具材料的相变温度时，刀具材料的金相组织发生变化，使硬度明显下降，从而造成刀具的磨损。如高速钢的相变温度是 550 ~ 600℃，当切削温度超过这个温度时，金相组织由硬度较高的马氏体转变成硬度偏低的奥氏体，使高速钢车刀发生急剧的磨损，失去切削能力。

（5）氧化磨损　当切削温度较高时（700 ~ 800℃），空气中的氧极易与硬质合金中的钴、碳化钨、碳化钛等合金元素发生氧化反应，产生如 Co_3O_4、WO、TiO_2 等一些疏松脆弱的氧化物，容易被切屑抹试掉而形成的刀具磨损。

3. 刀具磨损过程

刀具的磨损随切削的连续进行而逐渐增加。刀具的磨损过程可用磨损曲线表

示，如图 5-31 所示。实践证明，刀具磨损过程可分为三个阶段。

（1）初期磨损阶段（Ⅰ）　在刀具开始切削的短时间内，车刀磨损较快。这是因为新刃磨的车刀切削刃锋利，后面与工件过渡表面的实际接触面积较小，使切削刃单位面积受力较大，以及后面表面粗糙不平等缺陷造成的。磨损量的大小取决于车刀的刃磨和研磨的质量，一般初期磨损量为 0.05 ~0.1mm。

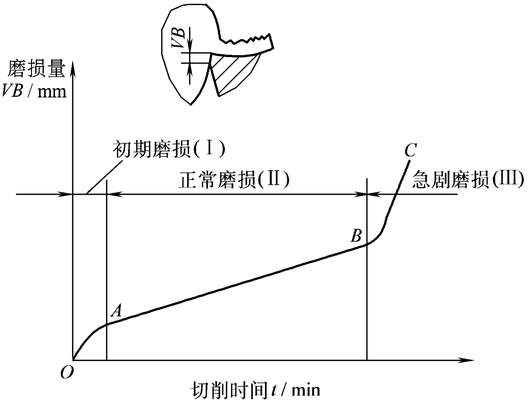


图 5-31　刀具磨损过程曲线

（2）正常磨损阶段（Ⅱ）　经过初期磨损之后，使切削刃部比较光滑，并在后面被磨出一条较窄的磨损带，使接触面积增大，压强减小，刀具受力均匀。提高抗压能力，从而磨损量 *VB* 随着切削时间的增长以缓慢而均匀的速度增大，在图中形成一条斜率不大的直线。这个阶段是车刀工作的有效期，使用车刀时，不应超过这一阶段。

（3）急剧磨损阶段（Ⅲ）　随着磨损量的不断增大，使切削刃变钝，引起切削力的增大和切削温度的提高。当磨损量达到某一数值（如 *B* 点）以后，刀具与工件的接触状况显著恶化，剧烈的机械摩擦引起切削温度的急剧上升。在高温状态下，高速钢车刀会产生相变磨损，硬质合金车刀会产生扩散磨损等，从而使刀具由缓慢的正常磨损转化为急剧磨损，导致刀具的烧损或破损，失去正常的切削能力。所以在这种情况发生前，应及时重磨或更换车刀，避免这种现象的发生。

4. 车刀磨钝标准

从车刀磨损过程曲线看出，任何一把车刀都不可能无限地使用下去。为延长车刀的使用寿命和保证工件的加工质量，必须在磨损量达到急剧磨损阶段之前，就应该对车刀进行重新刃磨或更换新刀。所以对车刀规定了一个合理的允许磨损量的最大值，即车刀的磨钝标准，又称磨损限度。

在切削过程中，后面均会产生磨损，而后面的磨损对加工质量和切削力、切削温度的影响较大，同时后面的磨损量易于观察、测量和控制。所以车刀的磨钝标准通常也按后面磨损棱面的高度 *VB* 表示，测量单位为 mm。

在生产实践中，由于加工条件和加工要求的不同，车刀磨钝标准的制定原则也不同，通常分为粗加工磨钝标准和精加工磨钝标准。

（1）粗加工磨钝标准　粗加工磨钝标准又称为经济磨钝标准，它是以经济

成本为出发点，使车刀一次的切削时间和重磨次数的乘积为最大值，即使车刀的使用寿命最长为原则，制定的磨损限度。磨钝标准数值一般选用正常磨损阶段终了时的磨损值。

（2）精加工磨钝标准　精加工磨钝标准是在保证工件加工精度和表面粗糙度的工艺条件下制定的，所以又称工艺磨钝标准。当已加工表面的表面粗糙度开始不符合技术要求时，车刀后面的磨损尺寸即为工艺磨钝标准的数值。

表 5-10 为常用车刀的磨钝标准。但由于切削直径的不同，车刀的磨损状况也随之不同，所以表 5-10 为常用车刀的通常磨钝标准，仅供选用时参考。

表 5-10　常用车刀的磨钝标准　（单位：mm）

刀具名称	工件材料	车刀材料			
		高速钢		硬质合金	
		粗加工	精加工	粗加工	精加工
外圆车刀	钢材	1.5～2.0	0.3～0.5	0.8～1.0	0.3～0.5
	铸铁	2.0～3.0	1.5～2.0	1.4～1.7	0.5～0.7
外圆车刀	高温合金	—	—	0.6～0.8	0.2～0.4
切断车刀	钢材	0.8～1.0	—	0.8～1.0	—
	铸铁	1.5～2.0	—	0.8～1.0	—

第 6 章　车削的基本操作

6.1　车削轴类零件的操作

在车削加工中，车削轴类是常见的加工内容，其中包括车外圆、车端面和车台阶等。

6.1.1　轴类零件的特点

轴类零件是机械装备中主要零件，它通常起支承传动和传递扭矩的作用。

1. 轴类零件的结构形式

轴类零件的结构形式可分为光轴、阶梯轴和花键轴等，它们一般由圆柱面、台阶、端面、倒角、圆弧和沟槽等构成。它们的作用是：

1）圆柱面一般用于支承传动零件（如齿轮、槽轮等）和传递扭矩等。

2）台阶和端面一般用来确定安装在轴上的零件的轴向位置。

3）倒角的作用一方面是为了便于组装其他零件，另一方面是清除零件的尖角毛刺，以防伤手。所以，除特殊要求外，一般都应对零件的尖角部位进行倒角。

4）圆弧可消除应力集中，提高轴的强度，并避免轴在热处理过程中产生裂纹等缺陷。

2. 轴类零件的技术要求

轴类零件的技术要求，主要包括加工精度、表面质量和热处理要求等。

（1）尺寸精度　主要包括直径和长度的尺寸精度，特别是直径的尺寸精度。轴的直径是零件装配的重要基准面，只有达到相当的尺寸精度，才能保证机械装配的安装精度。

（2）形状精度　包括圆度、直线度、平面度和圆柱度。

（3）位置精度　包括同轴度、圆跳动、垂直度和平行度等。

（4）表面粗糙度　为保证加工精度的技术要求，必须提高加工表面的表面质量。在普通车床上车削中碳钢材料时，表面粗糙度值 R_a 一般可达 1.6μm。在特殊条件下，车削精密螺纹、螺纹塞规、螺纹环规时，表面粗糙度值 R_a 可达 0.4μm 以上。

（5）热处理要求　重要的轴类一般都应进行热处理。

1）正火或退火处理。正火或退火处理，可使钢材内部的晶粒细化，消除原始的或锻、铸后产生的内应力，并降低材料的硬度，改善切削加工性能。正火或退火多在切削加工前或粗车加工后进行。

2）调质处理。调质既可以获得良好的综合力学性能，减小后续加工的变形，又能改善切削加工性能，提高加工表面的光洁程度，是轴类零件常用的热处理工艺。调质处理一般安排在粗加工之后，半精加工之前。

3）表面淬火处理。表面淬火处理是提高钢件工作表面的硬度、耐磨性及疲劳强度，心部仍保持较好韧度，即外硬内韧的使用性能状态。其常用的方法有两种：一是在低碳钢或低合金钢的零件表面渗层深度为0.5～2.5mm的渗碳层后淬硬；二是在中碳钢或中碳合金结构钢的零件表面，采用感应加热的方法，将零件表面淬硬的。表面淬火处理一般安排在半精加工之后、精加工之前。

6.1.2　外圆车刀

1. 外圆车刀的分类

车削外圆的过程可分为粗车和精车两个阶段。因此，将使用的车刀分为粗车刀和精车刀两种。

（1）粗车刀　粗车的主要目的是尽快地切除毛坯上大部分的加工余量，使其接近零件图样要求的形状和尺寸。为提高切削效率，必须采用较大的背吃刀量和进给量，力争在每次进给中都切去较多的余量，因此要求粗车刀具有足够的强度。选择粗车刀的基本原则是：

1）为了增加刀头强度，前角和后角应选得小一些，以增大楔角，增强刀头的抗冲击和散热能力。

2）主偏角过小，使切削层宽度增大，在工艺系统刚度较差时，容易产生切削振动。通常多选用主偏角为45°、75°或90°的粗车，如图6-1所示。其中，45°车刀用于粗车外圆、端面和倒角；90°车刀用于粗车有垂直台阶的外圆或端面。

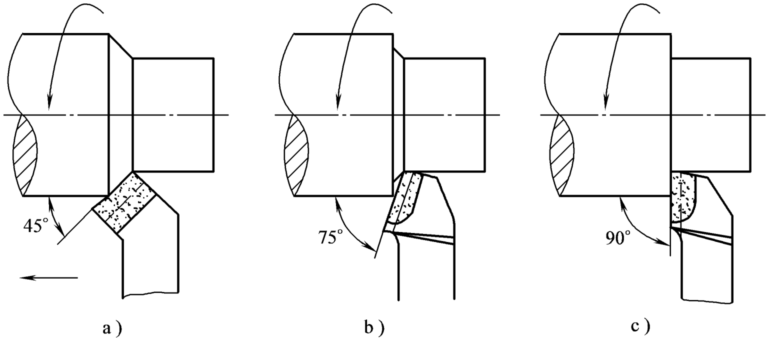


图6-1　常用粗车外圆车刀

3）粗车刀一般选用0°～－5°的刃倾角，在粗车带有冷硬层的材料和断续切削时，则应选取刃倾角为－10°～－15°的粗车刀，以提高切削刃的抗冲击能力。

4）为提高刀具的使用寿命，通常在刀尖处磨有折线型过渡刃，或在主切削刃上磨出宽度为（0.5～0.8）f、倒棱前角为－10°～－15°的刃口倒棱，以增强刀尖强度，改善散热条件。

5）在粗车塑性金属时，应在前面的切削刃附近磨出卷屑槽，使切屑自行折断或有序排出。

（2）精车刀　精车是切除在粗车时留有的合适的加工余量，从而获得零件图样所要求的加工精度和表面粗糙度，所以要求精车刀必须锋利，切削刃应平直光洁，并在刀尖处磨有修光刃。

选择精车刀的基本原则是：

1）选取较大的前角，使切削刃锋利，切削轻快。

2）选取较大的后角，以减小后面与工件之间的摩擦。

3）选取较小的副偏角，并在刀尖处磨有圆弧型过渡刃；或使切削刃与进刀方向平行，形成副偏角为零的修光刃。

4）为防止切屑划伤已加工表面，应选取刃倾角为3°～8°的精车刀，使切屑流向待加工表面。

5）在精车塑性材料时，前面应磨有相应宽度的卷屑槽。

图6-2是典型的90°硬质合金精车刀。

图6-3是实践中在车削中碳钢工件时使用的高速钢弹性精车刀。在经过细微的鐾刀后，在低速精车轴类外圆时，当加工余量为0.1～0.15mm时，采用较大的进给量，也能获得R_a0.8μm的表面粗糙度值。

2. 车刀的安装

车刀的安装位置直接影响切削效果。因此在安装车刀时，应注意以下几点：

1）车刀刀尖伸出刀架的长度要适当。伸出过长，会降低刀杆刚度，容易产生切削振动，影响工件的表面粗糙度。一般伸出的长度为刀杆厚度的1～1.5倍。

2）车刀刀尖高度应与工件侧母线即工件的旋转中心等高，车刀刀杆应与进给方向垂直，以避免车刀工作角度偏离车刀的标注角度，影响切削的实际效果。根据经验，在

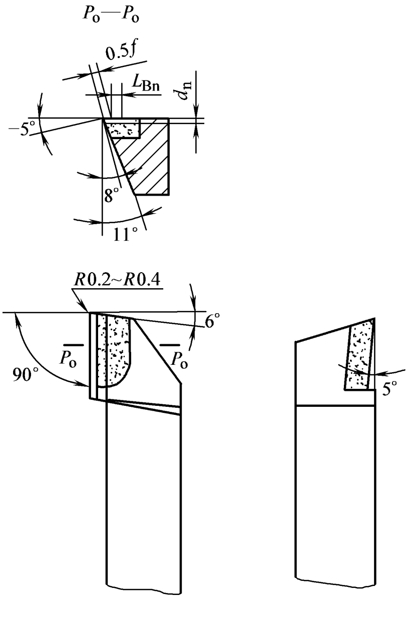


图6-2　90°硬质合金精车刀

粗车外圆时，可将车刀安装得比工件旋转中心稍高一些，但一般不能超过工件直径的1%。

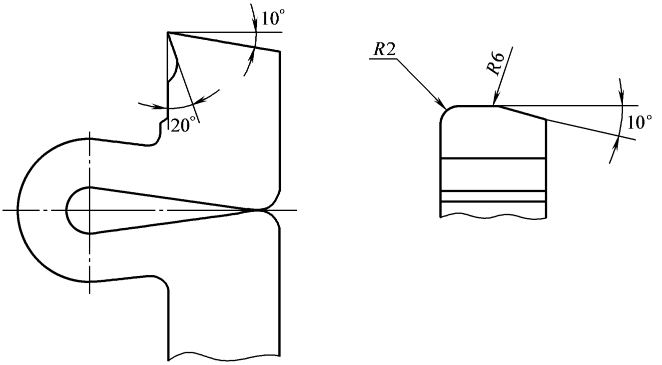


图6-3　高速钢弹性精车刀

迅速确定刀尖高度的方法有：

①根据车床尾座顶尖的高度确定。

②先粗略目测高度，再旋转工件，根据工件旋转中心确定；也可以轻轻切削工件端面，根据显示出的工件实际旋转中心确定。

③做测高卡板，使卡板底面与探出的测高指示端的垂直距离等于刀架底面与主轴中心高度的垂直高度。将卡盘底面垂直放置在刀架底面上，用指示端确定刀尖的高度。

3）车刀垫片要平整并与刀杆对齐，尽可能减少片数，以踏实可靠地垫平车刀，防止切削振动。

4）装夹车刀一般应紧固两个以上的螺钉。在紧固前应目测检查并调整车刀的正确位置，再用专用刀架扳手，轮换逐个逐步拧紧螺钉，并注意刀尖高度和位置的变化，随时进行调整。拧紧螺钉应用力得当，不允许在刀架扳手上加套管拧紧，以防止螺钉受力过大而损伤。

6.1.3　车轴类零件的基本方法

1. 车外圆操作

（1）车外圆的一般步骤

1）按技术要求找正并夹紧工件。

2）正确装夹工序需用的车刀。

3）调整进给量。根据选定的进给量，将进给箱手柄调节到恰当的位置上。

4）根据选定的切削速度调整车床转速后，手扳卡盘，视传动正常后，方可开车。

5）调节背吃刀量。首先测量待加工表面的直径，根据加工余量确定进给次数和每次的背吃刀量。在粗车时，通常采用试车削的方法控制背吃刀量。试切的操作步骤如图 6-4 所示。

①起动车床，移动床鞍和中滑板，使车刀刀尖在待加工表面上轻轻接触，并划一浅痕，确定背吃刀量的起始位置，如图 6-4a 所示。

②移动床鞍，退出车刀，并转动中滑板刻度盘对准零位，如图 6-4b 所示。

③根据选定的背吃刀量，利用刻度盘数值控制背吃刀量 a_{p1}。当中滑板手柄摇到接近所需要的背吃刀量的格数时，应慢慢摇动或轻轻敲击手柄，以防冒进，如图 6-4c 所示。

④移动床鞍切削外圆，试切长度约 2mm，如图 6-4d 所示。

⑤退出车刀，测量试切直径，如图 6-4e 所示。

⑥根据测量尺寸，调整背吃刀量 a_{p2}，如图 6-4f 所示。这时，即可合上进给手柄，采用机动进给。

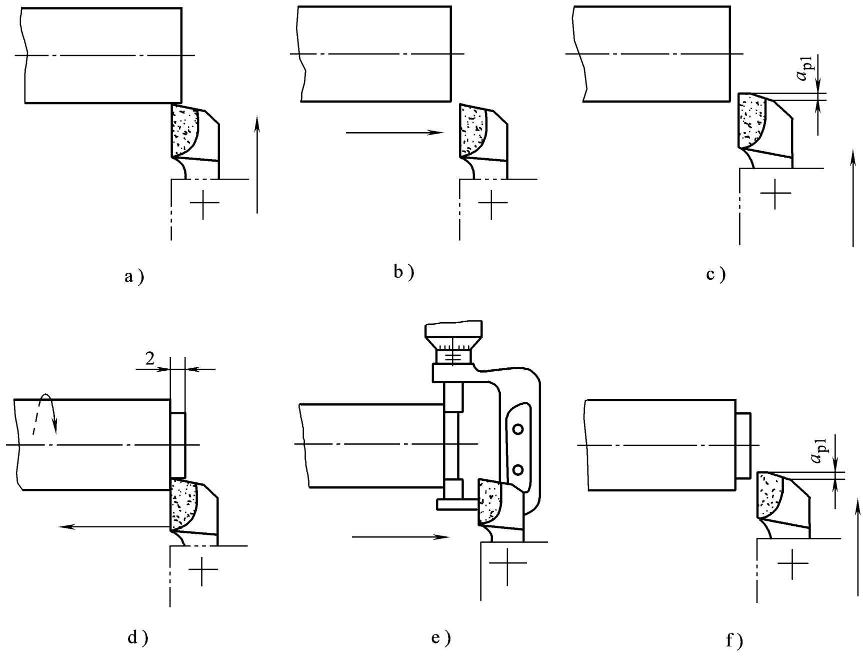


图 6-4　试切的步骤

a）刀尖接触工件外圆　b）车刀退出　c）调整背吃刀量

d）试切外圆　e）测量试切尺寸　f）根据测试结果调整背吃刀量

在精车时，当加工余量很小时，可用以下的方法确定背吃刀量的起始位置，即在待加工表面和车刀切削刃之间放置一条薄纸片，使中滑板作慢慢进给。当切

削刃与纸片接触并轻轻夹紧，直到拉不动纸片时，将中滑板刻度调至零位，即是背吃刀量的起始位置，如图 6-5 所示。

（2）应该注意的问题

1）由于横进丝杠和螺母在传动时存在组装间隙，因此在反向摇动手柄时，会产生刻度盘转动而刀架并未移动的空行程现象。所以，在使用刻度盘进刀时，如果不慎多摇进了几格时，则不能简单地退回多进的格数了事，而应该反向多退一些，待退回全部空行程后，再将刻度盘摇到需要的位置上。

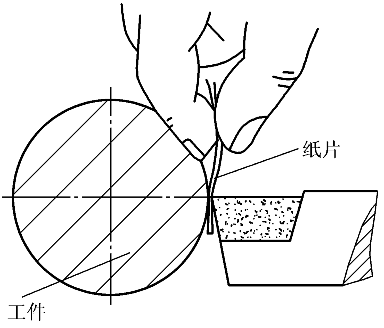


图 6-5　用手拉动纸片

2）在切削时，由于工件处于旋转状态，所以在使用中滑板刻度盘进刀时，车刀在外圆上的切除量是背吃刀量的两倍。因此，当工件外圆的加工余量确定后，中滑板刻度盘所控制的背吃刀量是加工余量的 1/2。

2. 车端面和台阶的基本方法

车削端面和台阶，通常使用主偏角为 90°的偏刀或 45°的弯头车刀，其安装方法与外圆车刀相同。

（1）端面的切削　端面的切削通常是指直径较大、长度较短的端面的切削。在安装端面车刀时，应特别强调刀尖要严格对准工件中心，过高会出现刀尖崩刃，过低会在工件端面中心出现凸台的现象。

在一般情况下，多用右偏刀粗车端面。根据进刀方向和刀具安装角度的不同，有以下几种切削形式，如图 6-6 所示。

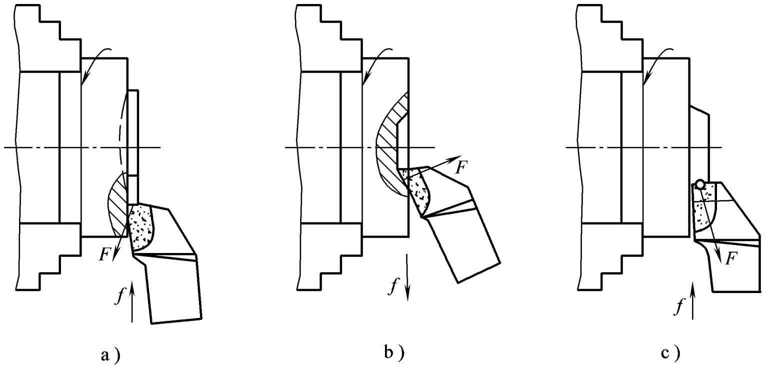


图 6-6　用右偏刀粗车端面

a）向中心进给　b）由中心向外进给　c）在副切削刃上磨前角

图 6-6a 为偏刀由工件外圆向中心进给切削端面，车刀由副切削刃担任切削，由于副切削刃的受力方向 F 向内倾斜，切削力使车刀有逐渐向工件内扎入而形成凹面的倾向。

为改善切削条件，可改由工件中心向外进给，用主切削刃切削。但由于主偏角较小，所以应采用较小的背吃刀量，如图 6-6b 所示。

图 6-6c 为在副切削刃上磨出前角和卷屑槽，由副切削刃担任切削，车刀由工件外圆向中心进给，使切削平稳，排屑效果较好。

在精车端面时，也可采用图 6-6c 的切削形式，只要在车刀刀尖处磨出圆弧形过渡刃，即可使端面的粗糙度值达到技术要求。

当切削表面要求较高的端面时，可采用高速钢精车右偏刀，主切削刃的几何参数如图 6-7 所示。即主切削刃应保证由长度为（2 ~ 3）f 的平行于端面的修光刃，前后端各有折线形的圆弧形过渡刃。进刀方向可以由内向外，也可以由外向内。在切削加工质量要求较高的端面时，如果加工余量和切削用量选择得当，采用这种形式的精车右偏刀车削端面，表面粗糙度值 R_a 可达 0. 8μm 以上。

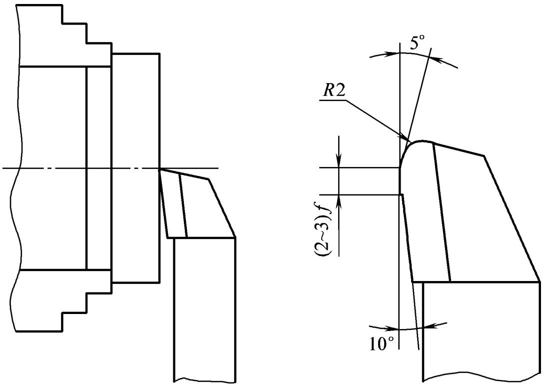


图 6-7　高速钢精车右偏刀

（2）台阶的切削　在切削台阶过程中，不仅要车削外圆，还要车削台阶端面，并保证台阶的长度尺寸，保证台阶端面与工件轴线的垂直度要求。

当切削相邻两直径相差不大的低台阶时，可用 90°偏刀直接车出；当切削相邻两直径相差较大的高台阶时，可用主偏角较大的外圆车刀粗车，再用 90°偏刀清根，将台阶车成直角，如图 6-8 所示。

由于台阶的作用是确定装配零件的轴向位置的，所以要求台阶端面应与工件轴线垂直，因此在刃磨偏刀时，应保证主切削刃有较高的直线度，在安装车刀时，主切削刃也应与工件端面有 2° ~ 3°的倾角，在达到长度尺寸时，停止纵向进给，手摇中滑板手柄，慢慢均速退出。

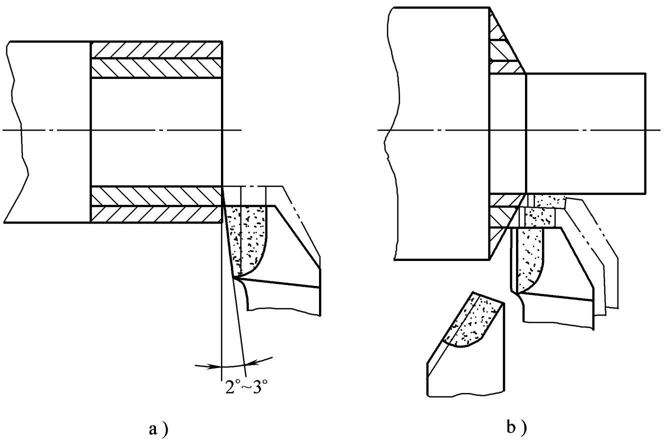


图 6-8　车台阶
a）车低台阶　b）车高台阶

控制台阶长度尺寸，一般有如下几种方法：

1）刻线法。以工件端面为基准，用钢直尺或内卡钳量出台阶的长度尺寸，开车，用刀尖在相应的位置处车出细线，然后手动纵向进给试切外圆，符合这次的背吃刀量后，合上机动进给手柄。当车到距刻线 1～2mm 时，停止机动进给，改用手动进给。当主切削刃切到刻线时，将车刀横向慢慢退出，将台阶面车平。待检测长度尺寸符合要求后，在继续进刀，操作过程如图 6-9 所示。

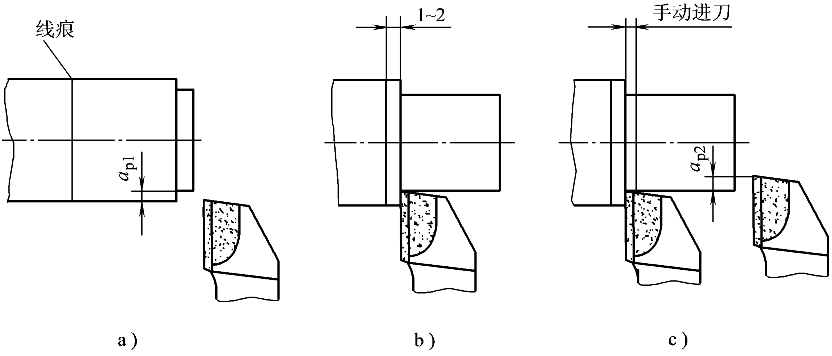


图 6-9　粗车台阶外圆
a）试切　b）机动进给停　c）手动进给→退刀→床鞍复位

2）用床鞍纵向进给刻度盘控制长度。移动床鞍和中滑板，使右偏刀主切削刃与工件端面轻轻接触后，将床鞍刻度盘调到零位，纵向进给时，使刻度盘上的进给读数等于台阶的长度即可。

3）用挡铁控制长度。在大批量生产时，为准确迅速地控制台阶长度，可在床面上设置挡铁的方法。采用这种方法的前提是：

①工件装夹的轴向位置必须一致，进给的起始点应固定在轴向的固定位置上，多在半成品的后序加工采用。

②应时时注意安全生产，纵向进给应采用机动和手动相结合的操作方式，即在床鞍与挡铁相碰前，必须停止机动，改用手动操作，以防损坏机床。

6.1.4　测量技术

轴类零件在加工过程和加工完成后，都应进行不断地测量，检测外圆直径、径向圆跳动、同轴度以及端面平面度、垂直度和端面圆跳动等加工误差是否在图样要求的范围内。

1. 测量外圆直径的尺寸精度

测量外圆直径应根据技术要求选择合适的量具。如测量毛坯或精度要求很低的尺寸，可用钢直尺测量。钢直尺测量精度较低，但使用方便，可直接读出数值。粗车时，一般用游标卡尺测量，精车时则用千分尺测量，如图 6-10 所示。

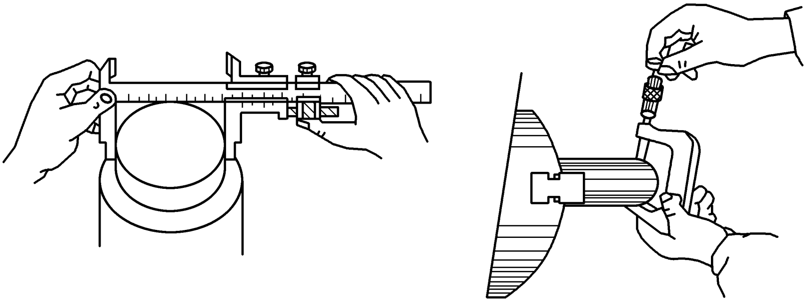


图 6-10　测量工件的外径

（1）游标卡尺的使用　游标卡尺是车工最常用的测量工具，它的正确使用方法是：

1）检查零位。将游标卡尺两侧两面擦净后推合，透光检测两测量面全部紧密靠拢后，再检查游标刻度和尺身刻度的零位线是否上下对齐。如果发现偏差，则说明两侧两面磨损，应及时修复后，待消除误差后再用。

2）测量时，左手握住尺身测量爪端部，右手拇指扣住游框凸头，以其余四指握住的尺身为支承，可自如地推拉游框。

3）将尺身测量爪贴到被测量的工件直径一侧，右手轻轻推动游框，将游标测量爪推向直径的另一侧。

4）当游标测量爪靠近直径时，尺身测量爪不动，右手使游标测量爪作轴向

轻轻摆动，并逐渐接触工件直径，使两测量爪的触点与工件径向垂直，以防歪斜，造成测量误差。

5）测量时，右手推进应自然柔和，推力不可过大，与直径接触适宜，不能过紧，以避免游框摆动歪斜，影响测量精度。

6）使用带微动游框卡尺测量时，先拧紧微动游框的紧固螺钉，再转动微动螺母，使游标测量爪轻轻与工件直径接触，待卡尺读数稳定后，将游框紧固螺钉拧紧后，取下卡尺读数。

7）当测量直径较大的工件时，应重复测量几次，以剔除有误差的测量。

8）使用完毕后应涂油后装盒保存。

（2）千分尺的使用　千分尺是较为精密的测量工具，常用于测量加工精度较高的工件直径尺寸以及圆柱度等形状误差。正确使用千分尺的方法是：

1）选用符合测量范围的千分尺。与卡尺不同，千分尺是分段测量的。当测量范围在500mm以内，每25mm为一个测量段，即量程；当测量范围在500～1000mm时，每100mm为一个测量段。如当测量ϕ35mm的工件直径时，应选用测量范围为ϕ25～50mm的千分尺。

2）校正零位。先将千分尺两测量面擦拭干净，转动棘轮。当两测量面接触后，棘轮会发出“咔咔”的响声，这是检查零位线是否对准。当产生零位偏差时，应进行调整或检修校准。这是测量范围为0～25mm千分尺的校正方法，其他测量段的千分尺，则用相应的校正棒采用同样的方法校正。

3）检验测量误差。千分尺的重复使用会引起测微螺杆的组装误差。因此，在使用测量段高端测量精密工件时，会产生测量误差，所以，在用两把千分尺测量同一件工件直径时，经常会出现读数不同的现象。如使用量程为25～50mm的千分尺测量$\phi48^{0}_{-0.016}$mm轴的直径时，虽然零位线对合准确，但数值在48mm的位置上是否准确呢？这要由测微螺杆的配合精度决定，配合精度越差，误差越大；离零线越远的位置，误差也越大。所以，在测量前应对被测量的48mm这一点的位置进行误差检验。

具体的方法是：选用多块量块，凑成尺寸48mm，放置在千分尺两测量面间，转动棘轮，待微分筒刻线不动时，观察刻度在48mm位置上的零位线是否对准。否则微分筒偏移的格数，即为千分尺在这个位置上的测量偏差。采取的补救措施，一是送计量部门进行修复，校准精度；二是以偏差的刻线作为假定零位，在测量时以此冲销。

4）测量前，被测表面和千分尺两端面均应擦净。

5）应注意，必须在工件降到室温状态下再进行测量，以防止热胀误差。

6）在测量时，左手握住尺架，设有隔热板的千分尺，应握在隔热板处，将下测量面贴到被测量面的直径一侧；右手拇指和食指先握住微分筒，并向前转

动，当上测量面接近直径另一侧时，再转动棘轮，并作轻微的轴向摆动，使两测量面与工件外径保持垂直的状态下，准确对准工件直径。当棘轮发声时，微分筒也停止转动，这时千分尺各刻度的综合读数，即为工件直径的实际测量尺寸。

7）在测量直径较大的工件时，很容易产生测量误差。为慎重起见，也应重复多测量几次，得到正确的测量结果。

8）退尺时，应转动微分筒，不能转动棘轮，以防止零件松动，影响零位的准确性。

9）切勿握住微分筒甩转尺架，以防止测微螺杆在偏移的离心力作用下损伤，影响测量的准确性。

（3）使用卡规或环规检测　在大批量生产时，多使用卡规或环规检测外径尺寸，卡规有通端和止端两个测量端，通端自如地通过、止端通不过的工件直径即为合格。

2. 测量形位精度

重要的轴类零件，除测量外圆直径的尺寸精度外，还应测量圆跳动、同轴度以及垂直度、平面度等。测量工具多用百分表或千分表。

（1）百分表的使用　百分表是常用的精密测量工具，主要用于检测工件的形状和位置公差。它的主要特点是并不测量具体尺寸，采用位置对比的方法比较被测表面的整体状况，从百分表的读数显示出被测表面的形位误差。

百分表的结构如图 6-11 所示。将淬硬的测头 1，用螺纹旋入测杆 2 的头部。测杆 2 的上端设置齿条，与小齿轮 3 啮合。当测杆上升时，带动小齿轮 3 转动，从而使同轴的大齿轮 4 和与其啮合的中心齿轮 10 及长指针 7 同时转动。同时中心齿轮 10 还带动大齿轮 9 和上面的短指针 8 转动，以记录长指针的转数，使长指针转一周，短指针转一格。在表盘 5 上有 100 格刻线，长指针每转一格，表示测量杆移动 0. 01mm。表圈 6 则是调整表盘刻度与长指针相对位置的。

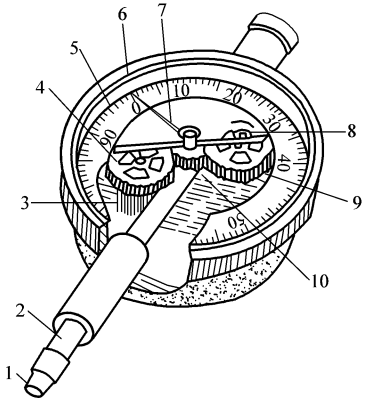


图 6-11　百分表的结构
1—测头　2—测杆　3—小齿轮　4、9—大齿轮　5—表盘　6—表圈　7—长指针　8—短指针　10—中心齿轮

测量轴类的百分表有钟表式和杠杆式两种，根据不同的状况选用。使用百分表应注意的问题是：

1）测量前，应把百分表稳定地装夹在磁性表座或其他可靠的支架上，在装夹时，夹紧力不宜过大，以防止套筒变形，影响测头的移动和测量精度。

2）将测杆、测头以及被测表面擦净。

3）用钟表式百分表测量时，在测头接近被测表面时，先用手提起测杆上端，再将测头移到被测表面上方，并轻轻落下，不准将测头强行推进，以免影响百分表精度。在使用杠杆式百分表测量时，也应避免这种现象的发生。

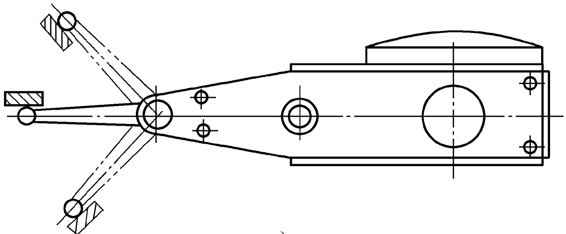
4）测量时，钟表式百分表的测杆应垂直指向被测表面的轴线，一般情况下，测杆与水平面垂直，并左右摆动，找出顶点位置后测量。

图 6-12 为杠杆式百分表的测量方法。一般情况下，除保证测头垂直指向被测表面的轴线外，测杆中心线还应平行于被测表面，如图 6-12a 所示。这时百分表的读数是被测工件的实际误差。当测杆中心线与被测表面成某一角度 α 时，如图 6-12b 所示，必然产生测量误差，百分表读数必须经过修正后，才能得到工件的实际误差。粗略的修正方法是：

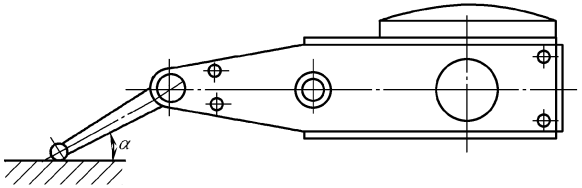
$$实际误差 = 测量误差 \times \cos\alpha$$

比如：测杆中心线与被测表面的倾角 $\alpha = 30°$，百分表读数为 0.008mm，这时，实际测量误差为

$$实际误差 = 0.008 \times \cos 30° = 0.008 \times 0.866\text{mm} = 0.0069\text{mm}$$



a)



b)

图 6-12　杠杆式百分表的测量方法

5）为了保证适宜的测量力，测头在被测表面上至少要压缩 20 ~ 25 个分度后，再将指针对准零位。然后将测头提起 1 ~ 2mm，放手使其自行复原观察，如果指针仍指向零位，即可进行测量。

6）读数时，视线应与百分表指针垂直，以免偏斜造成视觉误差。

（2）测量圆跳动　将工件放置在两顶尖间支承，百分表测头依次分别接触各外圆和端面等被测表面，使工件慢慢转动一周，分别观察百分表读数变化，读数最大值与最小值之差，即分别为各直径的径向圆跳动误差和端面圆跳动误差，

如图 6-13 所示。

（3）测量同轴度　将工件两定位基准面轴面放置在两等高的 V 形架上，轴向位置设一个限位支承柱，百分表测头与被测外圆垂直接触。如图 6-14 所示。转动工件，百分表读数最大值和最小值之差就是被测外圆相对于定位基准轴面的同轴度误差。

（4）测量端面的垂直度　端面对轴线的垂直度与端面圆跳动虽然有一定的联系，但是不同的两个概念。端面圆跳动是端面上任一测量直径处的轴向跳动，而垂直度则是整个端面相对于轴线的垂直度。所以，端面圆跳动为零不能确定垂直度也为零，而当端面圆跳动有误差时，垂直度也有一定的误差。所以，应在测量端面圆跳动合格的基础上，测量端面垂直度。

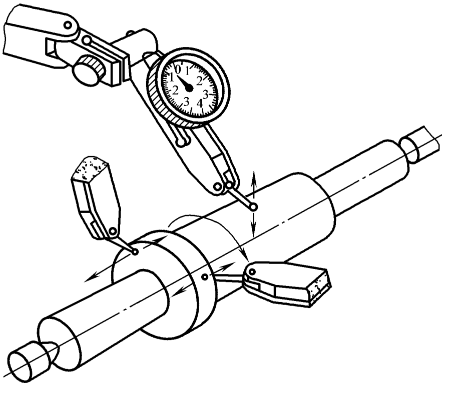


图 6-13　用百分表测量径向圆跳动

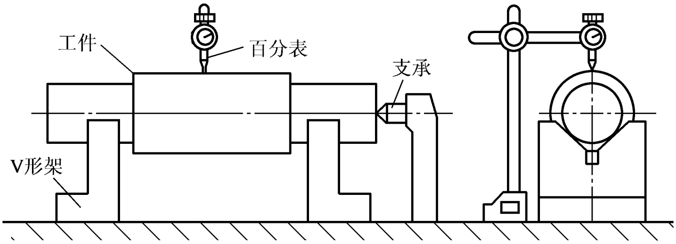


图 6-14　用 V 形架支承测量同轴度

测量端面垂直度的方法如图 6-15 所示。当垂直精度要求不高时，一般采用角尺做透光检查，如图 6-15a 所示。当测量垂直精度较高的大端面时，可将被测工件的基准面轻轻迫入导向块的通孔中，在检测端面圆跳动后，将百分表从工件中心向外平行移动，百分表指示的最大值差即为端面对基准面的垂直度误差，如图 6-15b 所示。

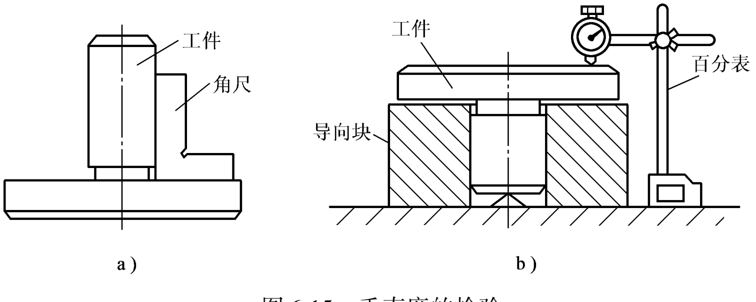


图 6-15　垂直度的检验

长轴类工件台阶端面的垂直度，也可将工件置于两顶尖间测量。如在图6-13中，可在测量端面圆跳动后，使百分表沿着端面的轴线作由内向外的径向平行移动，观察在小于半径的行程中百分表指针的变化，其摆动差即为大体的端面垂直度误差。

（5）测量端面直线度　测量端面直线度的常用方法是用钢直尺或刀口形直尺做透光检查，如图6-16所示。当直线度要求较高时，可采用上图（图6-15）的方法，使百分表沿着工件轴线做直径范围的平行移动，百分表指针的摆动差，就是该端面的直线度误差。

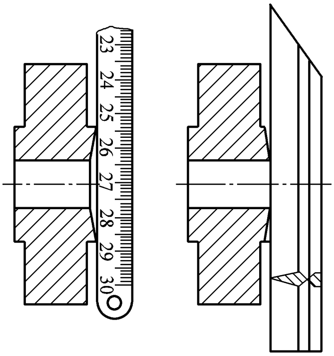


图6-16　检查端面的直线度

当直线度精度要求很高时，可在被测端面涂上一层显示剂，经过对研后，将端面上较高的部位显示出来，即可检验端面的直线度误差，又可检验端面的平面度误差。

3. 测量台阶长度

测量台阶长度的量具应根据台阶长度的精度要求选用。一般情况下，采用钢直尺或内卡钳测量；当台阶长度有精度要求时，则用深度游标卡尺测量；对于大批量或台阶长度精度要求较高的工件，则可用样板测量，如图6-17所示。

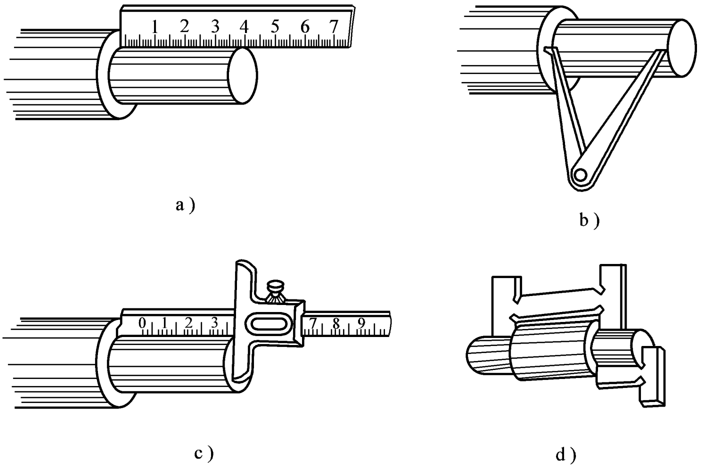


图6-17　测量台阶的长度

a）用钢直尺　b）用内卡钳　c）用深度游标卡尺　d）用样板

【实例6-1】　多台阶轴加工工艺实例

小批量车削制图6-18所示的多台阶轴。

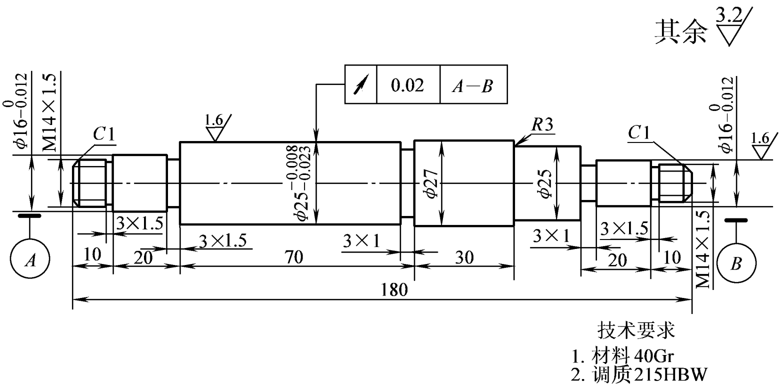


图 6-18　多台阶轴零件图

1. 工艺分析

1）由于小批量生产，可在车床上完成全部加工。

2）工件各台阶直径差较小，毛坯选用 Φ30mm 热轧圆钢。由于毛坯切除余量较少，下料后可直接进行热处理。

3）为保证工件的径向圆跳动精度，应以两端中心孔作为定位基准进行精车。

4）调头后，应将以一端中心孔为支承形式的加工表面找正后，再加工另一端的中心孔，必要时，对中心孔进行研磨，以保证两中心孔的同轴精度。

5）为避免过早地降低工件刚度，一般应先车尺寸较大的直径。

6）两端螺纹应安排在半精车之后、精车之前加工，以避免车削螺纹时工件产生弯曲，影响工件的圆跳动精度。

2. 加工工艺

多台阶轴的加工工艺如表 6-1 所示。

表 6-1　机械加工工艺卡片

×××厂		机械加工工艺卡片		产品名称		零件图号			
				零件名称	多台阶轴	共　页		第　页	
材料	40Cr	毛坯种类	热轧圆钢	毛坯尺寸	ϕ30mm	每毛坯可制件数		每台件数	
工序	工种	工步	工序内容			设备	夹具	刃具	量具
1	下料	1	下料 ϕ30mm×184mm			钢带锯			
2	热处理	1	调质 215HBW						
3	车	1	用三爪自定心卡盘夹外圆，车两端面，保证总长 180mm			CA6140		90°偏刀	游标卡尺

（续）

×××厂	机械加工工艺卡片	产品名称		零件图号	
		零件名称	多台阶轴	共　页	第　页

材料	40Cr	毛坯种类	热轧圆钢	毛坯尺寸	ϕ30mm	每毛坯可制件数		每台件数	

工序	工种	工步	工序内容	设备	夹具	刃具	量具
4	车	1	夹住一端车中心孔 ϕ1.5mm，用尾座顶尖顶住			中心钻	
		2	粗车 ϕ27mm，留余量 1mm			90°偏刀	游标卡尺
		3	调头，找正后，车另一端中心孔 ϕ1.5mm			中心钻	
5	车	1	用两顶尖装夹，粗车右端 ϕ16mm×20mm			90°偏刀	游标卡尺
		2	粗车 M14×1.5mm，留余量 0.2mm			90°偏刀	游标卡尺
		3	切外沟槽 3×1mm，3×1.5mm			切槽刀	
		4	车 M14×1.5mm 螺纹，倒角 $C1$			螺纹车刀	螺纹环规
		5	精车 ϕ25mm、R3mm 至尺寸			90°偏刀	游标卡尺
6	车	1	调头，用两顶尖装夹，粗车 ϕ25mm×70mm，留余量 0.2mm			90°偏刀	游标卡尺
		2	粗车 ϕ16mm×20mm，留余量 0.2mm			90°偏刀	游标卡尺
		3	粗车 M14×1.5mm 外径，留余量 0.2mm			90°偏刀	游标卡尺
		4	切外沟槽 3×1mm 和 3×1.5mm 两处			切槽刀	
		5	车 M14×1.5mm 螺纹，倒角 $C1$			螺纹车刀	螺纹环规
		6	精车 ϕ27mm×30mm 外圆和长度至尺寸			90°偏刀	游标卡尺
		7	精车 $\phi25^{-0.008}_{-0.023}$mm×70mm 至尺寸			修光车刀	千分尺

6.1.5　轴类零件的切削缺陷分析

在切削轴类零件时，往往会产生各种切削缺陷，产生的原因除车床精度影响外，主要是由操作不当引起的。常见的切削缺陷产生的原因和防止措施见表 6-2。

表 6-2　车削外圆时常见的切削缺陷产生的原因和防止措施

易出现问题	产 生 原 因	解 决 措 施
尺寸精度不够	（1）测量时误差太大 （2）没有进行试切 （3）由于切削热的影响，使工件尺寸发生变化	（1）量具使用前，必须仔细检查和调整零位，正确掌握测量方法 （2）根据加工余量算出背吃刀量，进行试切削，然后修正背吃刀量 （3）不能在工件温度较高时测量
圆度超差	（1）车床主轴间隙太大 （2）毛坯余量不均匀，切削过程中背吃刀量发生变化 （3）顶尖装夹时，顶尖与中心孔接触不良或后顶尖太松或前后顶尖产生径向圆跳动	（1）修磨主轴轴颈，检查主轴间隙，并调整合适 （2）分粗、精车 （3）工件装夹松紧适当，检查顶尖的回转精度，及时修理或更换
产生锥度	（1）用一夹一顶装夹工件时，尾座顶尖与主轴轴线偏离 （2）用卡盘装夹，工件悬伸太长，车削时因径向切削力影响使前端让开，产生锥度 （3）用小溜板车外圆时，小溜板位置不正确 （4）车床导轨与主轴轴线不平行 （5）刀具磨损过快，工件两端背吃刀量不一样	（1）调整尾座位置，使顶尖与主轴对准 （2）增加后顶尖支撑，采用一夹一顶装夹方式 （3）将小溜板的刻线与中溜板“0”刻线对准 （4）调整车床主轴与床身导轨的平行度 （5）选用合适的刀具材料，降低切削速度
表面粗糙度超差	（1）车床刚性不足 （2）车刀刚性不足或伸出太长引起振动 （3）工件刚性不足引起振动 （4）车刀几何参数不合理，例如选用过小的前角、后角和主偏角 （5）切削用量选择不当	（1）消除或防止由于车床刚性不足引起的振动 （2）增加车刀刚性和正确装夹车刀 （3）增加工件的装夹刚性 （4）合理选择车刀角度 （5）选用合理的切削用量，进给量不宜太大，精车余量和切削速度选择适当
表面出现波纹	（1）有规律的出现波纹，是由溜板相齿轮与齿条啮合不正确或光杠弯曲过大，以及电动机旋转不稳等因素引起的 （2）不规则出现波纹，是由主轴轴向间隙过大，或轴承磨损，以及导轨滑动面间隙过大等因素引起的	（1）调整齿轮与齿条间的配合间隙或校直光杠，以及校正电动机转子的平稳性 （2）调整主轴各轴承的间隙或更换磨损的轴承，以及调整各滑动面的移动间隙

6.2 车削套类零件的操作

套类零件在产品组装时起连接、支承和导向作用，车削套类零件的主要内容是对内孔的加工。

6.2.1 套类零件的特点

1. 套类零件的加工特点

由于套类零件的结构特点，在加工内孔时，比切削轴类零件困难得多，其主要表现为：

1）孔的加工是在工件内部进行的，很难观察切削状况，特别是加工小而深的内孔，根本无法观察，因此不容易控制加工精度。

2）内孔车刀刀杆刚度差。由于受到孔径和孔深的限制，刀杆尺寸不能做得太粗、太短，因此车刀的刚度较差，特别是加工小而深的内孔时，更为突出。

3）排屑和冷却比较困难。

4）在装夹和切削时容易变形，特别是壁薄的工件，更容易变形。

5）测量有一定难度。

2. 套类零件的技术要求

套类零件一般由内、外回转表面以及端面、台阶、沟槽等部分组成。通常套类零件与轴类零件需要不同性质、不同精度的配合，而孔或轴的配合表面，往往是组装的基准面。因此，各配合表面应有较高的尺寸精度、形位精度和较低的表面粗糙度值。

（1）尺寸精度　套类零件相互配合表面的尺寸精度一般为 IT7，精密轴套为 IT6。

（2）形状精度　指相互配合直径的圆度和圆柱度，一般控制在尺寸公差的 1/2～1/3 范围内。对有特殊要求的零件，如气缸或液压缸的内孔，形状精度的要求更高。

（3）位置精度指孔与外圆的同轴度，以及端面对孔或外圆的垂直度，它们影响零件在组装时的位置误差，所以在加工套类零件时，应重点关注。

（4）表面粗糙度　相互配合面的表面粗糙度值 R_a 一般在 1.6～1.8μm 范围内，其他表面根据实际需要或经济性原则而定。

套类零件中内孔一般的加工步骤为：钻孔、车孔、铰孔等。

6.2.2 钻孔操作

在实心材料上用麻花钻头加工孔的方法叫钻孔。钻孔加工的尺寸精度较低，

一般可达 IT11 ~ IT12，表面粗糙度值 R_a 大于 12.5μm，属于粗加工范围，一般还需进行后续加工。

1. 麻花钻头的特点和刃磨

麻花钻头是加工内孔的常用刃具，由工作部分和柄部组成。

（1）麻花钻工作部分的几何形状　麻花钻工作部分一般由高速钢制成，有较高的硬度。其几何形状如图 6-19 所示。

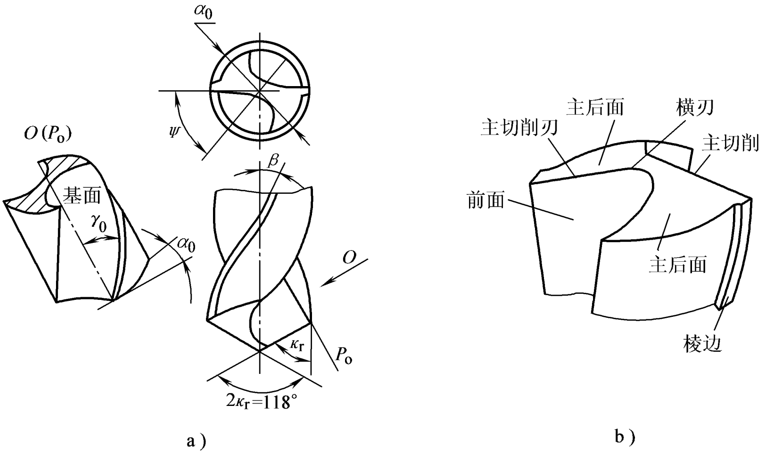


图 6-19　麻花钻的几何形状

a）麻花钻的角度　b）外形图

1）螺旋槽。麻花钻的工作部分有两条对称的螺旋槽，从而构成对称的两个正反切削刃，并且是排出切屑和注入冷却液的通道。

螺旋槽上最外缘的螺旋线展开成直线后与轴线之间的夹角 β 为螺旋角。由于同一支钻头的螺旋角导程是固定的，所以不同直径处的螺旋角随着直径的变化而变化，越靠近中心，螺旋角越小。钻头上的名义螺旋角是指外缘直径 d 处的螺旋角，标准钻头的螺旋角在 18° ~ 30°之间。

2）前面。指由螺旋槽形成的切削刃附近的螺旋槽面，是切屑流出时首先接触的钻头表面。

3）主后面。指钻顶的螺旋圆锥面，即与工件过渡表面相对的钻头表面。

4）主切削刃。是两前面与两后面分别形成的两条交线，它们担负着主要的切削工作。

5）顶角（$2\kappa_r$）。顶角是钻头两主切削刃之间的夹角。夹角的变化将影响主切削刃的直线度，如图 6-20 所示。标准麻花钻的顶角一般为 118°，这时两主切削刃为直线；当顶角大于 118°时，两主切削刃为凹曲线；当顶角小于 118°时，两主切削刃为凸曲线。

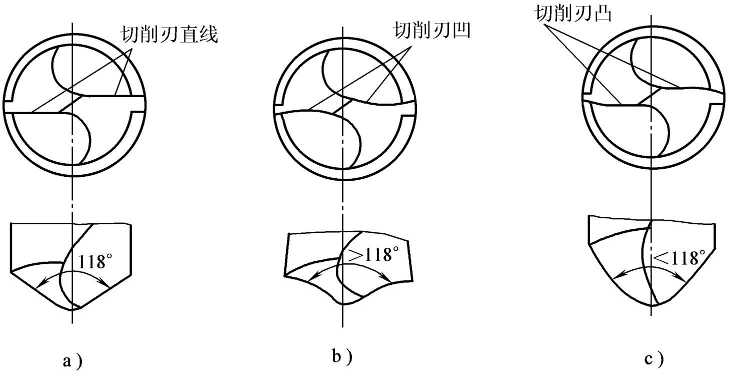


图 6-20　麻花钻顶角大小对切削刃的影响

顶角还影响切削状况，当顶角大时，会引起前角增大，使切削省力，但由于主切削刃短，定心力较差，钻孔直径容易扩大。因此，在切削直径较大的较硬材料时，可适当增大顶角；而切削直径较小，精度要求较高的较软材料时，可适当减小顶角。

6）前角。前角是前面与基面之间的夹角。影响前角最大的是螺旋角，螺旋角越大，前角也越大。由于螺旋角随着测量直径的大小而变化，所以主切削刃上任一点的前角是过该点的基面与前面之间的夹角，那么，在外缘直径处，前角越大，并以此向中心逐渐减小，而在钻头直径的 1/3 处变为负前角，并逐渐增大，变化范围大约为 −30°～30°之间。

7）主后角。主后角是主切削刃平面与主后面的夹角。麻花钻主切削刃上各点的主后角数值也是变化的，主切削刃上任一点的主后角是过该点切削平面与主后面之间的夹角。在外缘直径处，主后角越小，接近中心处最大，变化范围为 8°～14°。

8）横刃。两个后面相交形成的刃口称横刃。横刃在钻头轴线上的垂直投影是通过轴线的一条直线。横刃前角均为负值，一般在 −60°～−54°之间变化，所以在切削时会产生很大的轴向阻力。

横刃斜角是在垂直于钻头轴线投影中，横刃与主切削刃之间所夹得锐角。横刃斜角的大小与后角有关。增大主后角，横刃斜角就变小，使横刃变长，从而使轴向阻力增大，对钻削不利；减小主后角，横刃斜角变大，使横刃变短，从而降低钻尖强度。

9）棱边。棱边也称韧带。韧带形状近似于圆柱面，从而形成副后角为零的副切削刃和副后面。韧带整体圆柱面的直径即为钻头的标定直径 d_0。韧带又是麻花钻的导向部分，在切削过程中用以保持钻削方向和修光孔壁，以及作为切削

刃部在磨损后的后备部分。

（2）麻花钻的刃磨要求　麻花钻头既有它本身的特点，又有与车刀相似之处。它的切削部分可以看成正反对称的两把车刀，也具有三面、两刃、一尖的结构特征，其几何角度概念与车刀基本相同。

标准麻花钻的刃磨要求是：

1）顶角 $2\kappa_r$ 为 118°±2°，并被钻头轴线所平分，即两侧的半角对称相等。

2）两主后面外缘处的主后角对称相等，一般为 10°~14°。

3）两个主切削刃长度相等，外缘双肩高度一致，相对于钻头轴线对称。

4）横刃斜角为 50°~55°。

麻花钻的刃磨要求主要是强调两切削刃的对称性，使两主切削刃保持相同的切削状态，以保证切削力的均衡。

（3）麻花钻刃磨技术　麻花钻在一般刃磨时，只需刃磨对称的两个主后面即可。在这个过程中，应同时保证顶角、主后角和横刃斜角等几何参数都基本正确。所以，刃磨麻花钻头是一项较难掌握的操作技术。

刃磨麻花钻头的基本方法如图 6-21 所示。

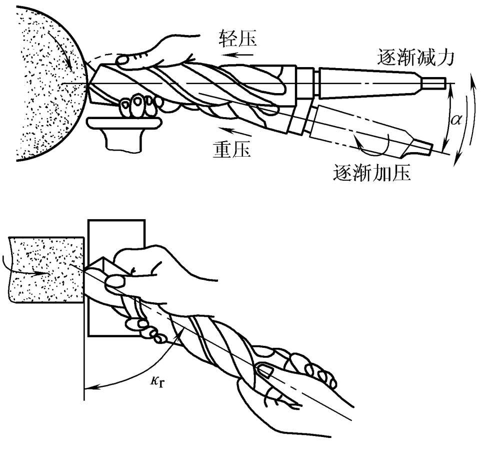


图 6-21　刃磨麻花钻头

1）刃磨前先检查并修整砂轮，使砂轮表面平整。

2）右手握在离切削刃约 30mm 处，左手握住钻头柄部作定位支承。

3）将钻头轴线与砂轮圆柱面素线在水平面的夹角等于顶角 $2\kappa_r$ 的一半。

4）钻头轴线略高于砂轮水平中心平面处，将一侧的主切削刃慢慢靠近砂轮圆周表面。

5）产生火花后，右手轻轻施压，缓慢地使钻头绕自己的轴线由主切削刃向主后面转动，左手则配合右手作缓慢地同步下压运动，并逐步加压，其下压的速度和幅度随主后角的大小变化。

6）按上述动作不断反复刃磨，直至达到刃磨要求。

7）以双手操作动作不变，将钻头转过 180°，用同样的方法磨出另一侧的主切削刃。

8）刃磨后应不断地把钻头浸入冷水中冷却后，再继续刃磨，以防止钻头退火，影响使用寿命。

9）刃磨中或刃磨后，常用目测的方法进行检验。将钻头切削部分向上垂直

竖立，两眼平视，观察比较两主切削刃的长度和两肩的高度是否一致，两顶角半角是否对称。为避免视角误差，可反复几次翻转，再观察比较后，再确定修复。

10）检测主后角的简单方法是，取一块橡皮泥，轻轻压入钻头的切削刃部，观察切削刃的反向状况，可显示出主切削刃各处在主后面形成的主后角的大小和有无负后角的现象存在。

（4）特殊刃磨技术　针对麻花钻存在的不足，在刃磨时应根据工件材料、加工要求，采用特殊的刃磨方法。

1）修磨横刃。在横刃处，由于形成很大的负前角，所以在钻削时，横刃是挤压和刮削孔的中心部位，使轴向力增大，从而产生大量热和消耗大量的能量。同时，由于横刃较长，削弱了钻头的定心力，因此，对横刃进行修磨，是改善麻花钻头切削性能的重要措施。

修磨横刃的常用方法如图 6-22 所示。

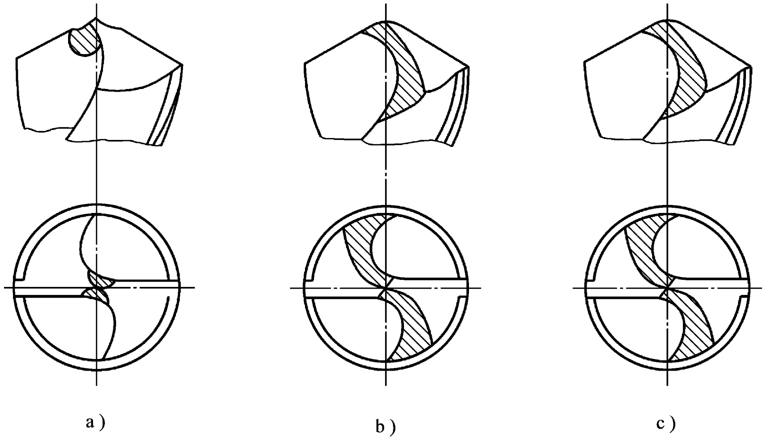


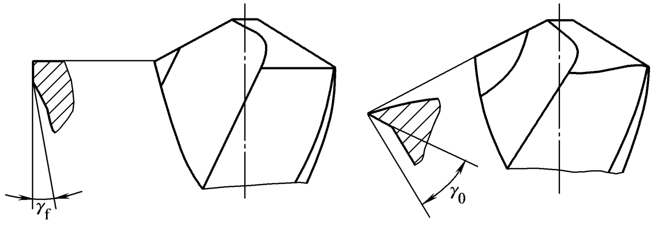
图 6-22　修磨横刃

图 6-22a 为将横刃磨短，可减小负前角的负值，从而减小轴向力，增强麻花钻的定心能力；图 6-22b 为横刃长度不变，而将其分为两半，并分别磨出适宜的前角，从而改善切削性能；图 6-22c 为既将横刃磨短，又磨出适宜的前角，这种方法集中了以上的优点，既减小了轴向力，又改善了麻花钻的切削性能。

修磨横刃的原则是：工件材料较软和有形位精度要求的工件，横刃可修磨得短一些，以增强麻花钻的定心力，提高孔的垂直度；当工件材料较硬时，横刃可修磨得长一些，以保证横刃的强度。

2）修磨前面。由于麻花钻主切削刃的前角由外向内逐渐递减，而切削速度也由外向内逐渐递减，即在最大的前角处，承受着最大的切削速度。这样在钻削较硬的材料时，在麻花钻外缘处，可加大前面的磨损。

修磨前面有减小和增大前角两种方法，如图 6-23 所示。



a)　　　　b)

图 6-23　修磨前面

图 6-23a 为修磨前面减小前角，以增强钻头强度，在钻削较硬材料时，减轻钻头的磨损；在钻削较软材料时，可修磨前面，以增大前角，从而减小切削力，使切削顺畅。

根据需要，在修磨前面时，也可以同时修磨横刃，以提高钻削的综合效果。

3）标准群钻。当钻削直径较大的塑性材料时，为改善麻花钻的切削效果，可采用群钻进行钻削。标准群钻如图 6-24 所示。首先按标准刃磨钻头的顶角和对称的两个主切削刃，再在两个后面上分别磨出月牙形圆弧刃 BC，最后修磨横刃，使之变低、变尖、变短，并形成两条内刃 CD，留下狭窄的横刃 b。之后，在外刃上磨出分屑槽 l_2，以避免出现很宽的螺旋卷屑槽，影响排屑效果。

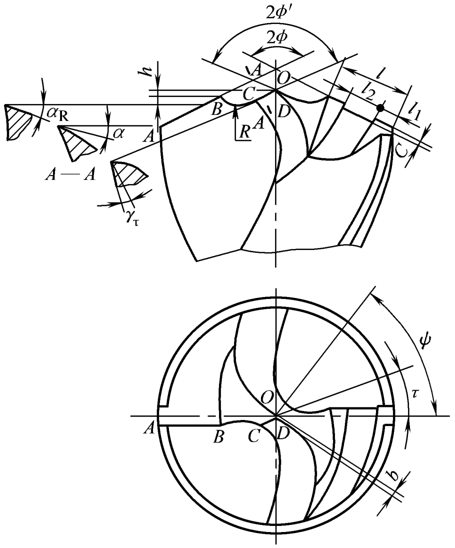


图 6-24　标准群钻

群钻的主要特点是：

①横刃变短，前角增大，显著减少了横刃的不利影响。轴向力可降低 35%

~50%，从而改善了切削条件，可加大进给量和切削速度，提高钻削效率。

②切削刃变得锋利，切屑变形小，从而减少了切削热量，钻头的寿命可提高3~5倍。

③圆弧刃在工件切削表面上切出一个凸状圆环，起定心作用，钻头不易偏摆，增加了钻削的稳定性，从而提高孔的表面质量和加工精度。

④分屑槽起分屑作用。有利于排屑和切削液的注入。

2. 钻孔操作

（1）钻孔操作的步骤和方法

1）将麻花钻直柄或锥柄分别装夹在钻夹头、专用夹具或尾座锥孔内，并调整钻头轴线的相对位置，使钻头中心与工件旋转中心重合。

2）根据工件材料和内径直径，选择合理的主轴转速。

3）先将端面车平。必要时可在端面中心处车成凹坑，或先用中心钻定心，再用麻花钻钻孔，使内孔获得较好的同轴度。

4）在钻削小而深的内孔时，为防止钻头摆动，可在刀架上夹一铜棒或硬木棒作为支承，轻轻顶住钻头切削刃刃部，使它对准工件的回转中心，并在移动中滑板调整支承的同时，试探着进给麻花钻。当钻头定心后，再将支承退出，如图6-25所示。

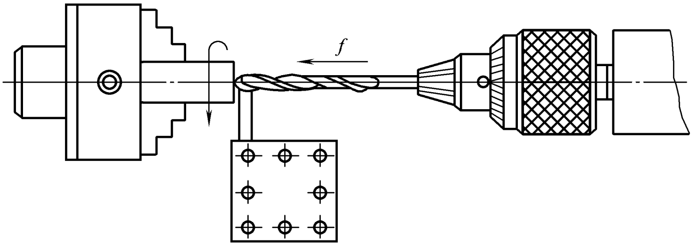


图6-25　防止钻头摆动的方法

5）在钻削较深的内孔时，如切屑不能顺利排出，应经常退出钻头，在清除切屑后，再继续推进。

6）当孔即将钻通时，由于横刃不再参与切削，从而轴向阻力降低，这时应减小进给量，并把握紧尾座手轮，以防钻头主切削刃突进，被将透的内孔“咬”住而损坏钻头。

7）为了使钻头散热冷却，并减少钻头与工件、切屑之间的摩擦力，在钻削塑性材料时，应加注足够的切削液。

（2）钻削的切削用量

1）背吃刀量（a_p）。已由钻头直径所定，为钻头直径 d_0 的一半，即

$$a_p = d_0/2\text{mm}$$

2）切削速度（v_c）。钻削的切削速度指钻头主切削刃外缘处的线速度，与钻头直径 d_0 和车床主轴每分钟转速 n 有关，即

$$v_c = \frac{\pi d_0 n}{1000}$$

用高速钢钻头钻削钢料时，切削速度一般选 15～30m/min，钻削铸铁时取 10～25m/min。

3）进给量（f）。在使用尾座进给时，是转动尾座手轮，实现钻削进给的。工件每转一周，钻头沿轴向移动的位移量，即为钻削的进给量 f，单位为 mm/r。

用直径为 12～25mm 的钻头钻削钢料时，进给量应在 0.15～0.35mm/r 之间选择，钻削铸铁时可适当加大。进给量过大会折断钻头，过小影响钻削效率。所以在钻孔时，还应均匀进给，以保证钻头的正常切削。

进给量 f 对内孔的表面粗糙度影响较大，而对钻头使用寿命，切削速度比进给量的影响大。所以钻孔时切削用量的选用原则是：在允许的范围内，尽量选择较大的进给量。当进给量受到钻头刚度或表面粗糙度的限制时，再考虑选择较大的切削速度。

在钻削小孔时，由于钻头本身刚度较差，切屑又不容易排出，很容易折断钻头。所以，一般应选择较高的车床转速和较低而均匀的进给量，并及时退出钻头排屑和注入冷却液。一般在 d_0 为 ϕ1～3mm 时，可取 n=2000～3000r/min 的车床转速。

（3）麻花钻刃磨状况对钻孔质量的影响　麻花钻在刃磨时常见的问题是顶角和主切削刃不对称，因而在钻孔时会出现质量问题，如图 6-26 所示。

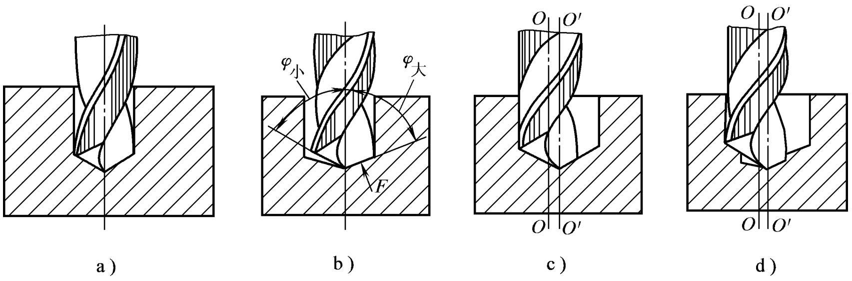


图 6-26　麻花钻刃磨状况对钻孔质量的影响

a）刃磨正确　b）顶角不对称　c）切削刃长度不等　d）顶角不对称且切削刃长度又不等

正确的刃磨，可使内孔的直线度、垂直度和表面光洁度较好，而孔的直径等于或略大于钻头直径，如图 6-26a 所示。

当顶角不对称时，会引起主切削刃的偏移，在钻削时，只有右侧的主切削刃在工作，左侧的主切削刃不起作用，使钻头两侧受力不平衡，右切削刃上的切削力使钻头向左偏移，导致孔径的扩大和歪斜，如图 6-26b 所示。

图 6-26c 为两切削刃长度不相等时的钻削状况。虽然两顶角半角相等，但顶角和主切削刃都不相对于钻头轴线对称。钻削时，钻头的工作中心由 O—O 斜移到 O'—O'，必然引起内孔直径的扩大和歪斜。

当顶角不对称、切削刃长度又不相等时，除了产生孔径的扩大和歪斜外，还会出现台阶，如图 6-26d 所示。

如果主后面产生负的主后角，则不能进行切削，必须重新刃磨。

6.2.3　车削内孔操作

用钻头钻出的孔或铸造孔，为了达到加工精度和表面粗糙度要求，一般还需要进行内孔车削。车削内孔分粗车和精车。精车的精度一般可达 IT7 ~ IT6，表面粗糙度值 R_a 可达 1.6 ~ 0.8μm。

切削内孔的技术难点是车孔时车刀的刚度、排屑和车好后内孔的测量问题。

1. 内孔车刀

内孔车刀的几何角度与外圆车刀基本相同，但由于车削内孔的特殊性，内孔车刀在结构上也有它的特殊性。

（1）内孔车刀的结构形式　内孔车刀有整体式和装夹式两种。

1）整体式内孔车刀的结构形式如图 6-27 所示。图 6-27a 为通孔车刀，为减小轴向切削抗力，一般选用较大的主偏角。通孔车刀的主后角较大。为避免主后面与孔壁相碰，将后角磨成双重后角，或将后角磨成圆弧状。磨出双重后角等形式，在车削直径较小的内孔车刀，均应采用。当切削不通孔或台阶孔时，则选用图 6-27b 的结构形式，它的几何形状与外圆偏刀相似。为使内孔端面清根，一般选用 92° ~95°的主偏角，在达到直径的精度要求后，再将车刀沿内孔端面平行后移。图 6-27c 为不通孔精车刀。在粗车不通孔或台阶孔时，可以先用图 6-27a 所示的车刀进行粗车，在孔径接近尺寸要求时，用它作清根和精车。

2）装夹式内孔车刀。为了节省刀具材料和较强的使用通用性，可将高速钢等刀具材料，做成各种形状的小刀头，装夹在内孔刀杆上，见图 6-28。刀杆分为车通孔的和车不通孔的两种，在顶端或上面用螺钉将刀头紧固。为适应不同孔深的需要，可采用方形刀杆，它可以根据孔深调节刀杆的伸出长度，其通用性更强。

（2）内孔车刀的刚度。正确制造、刃磨和装夹内孔车刀是提高车刀刚度的有效途径。其主要措施为：

1）设法尽量增加刀杆的横截面积。通常的做法是，刀尖位于刀杆的中心水

平面上，如图 6-29 所示。这样，使刀杆横截面积向孔径的上半部扩展，从而最大限度地增大刀杆的横截面积，提高刀杆的工作刚度。

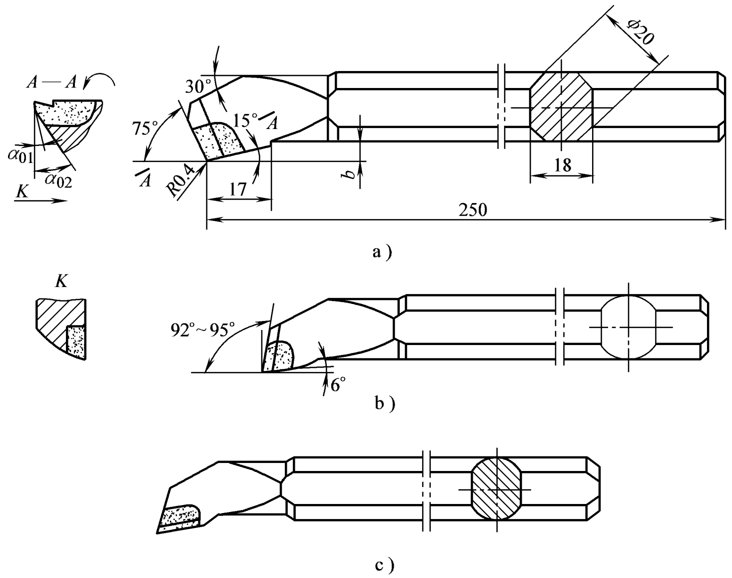


图 6-27　整体式内孔车刀的结构形式
a）通孔车刀　b）不通孔粗车刀　c）不通孔精车刀

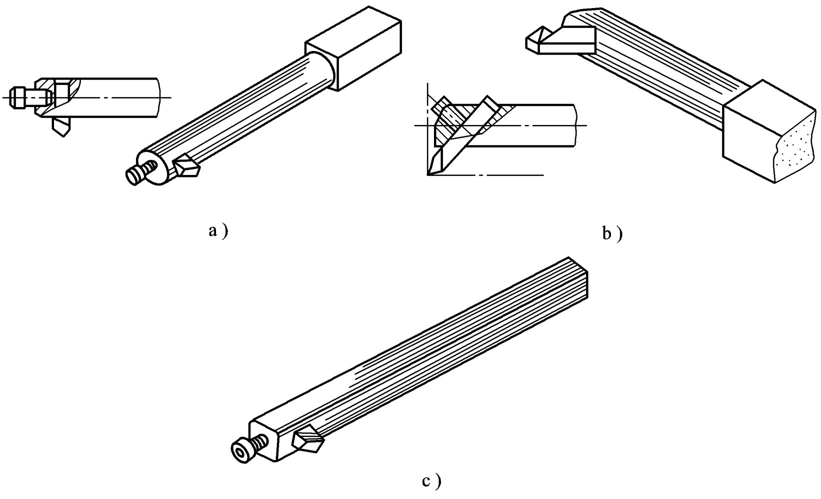


图 6-28　装夹式内孔车刀
a）通孔刀柄　b）不通孔刀柄　c）方形刀柄

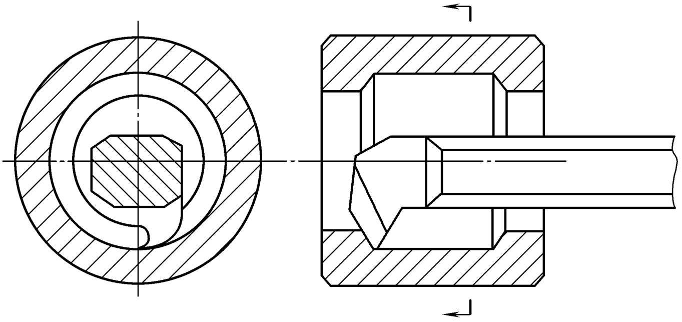


图 6-29　增加刀杆横截面积的措施

2）刀杆伸出长度应尽量地短，只需略大于孔深尺寸即可。

3）刀头高度应与工件中心等高，必要时可稍高一些，这时应注意车刀工作角度的变化。但不能低于工件中心，以防止产生“扎刀”现象，影响内孔的加工精度。

4）刀尖与刀杆内侧面的距离得当，以防切屑绕过，影响正常切削。

5）一般情况下，在装夹车刀时，刀杆轴线应与内孔轴线平行。但在大进刀量粗车或精车时，根据经验，可有意地将刀杆向内倾斜一个角度 α，如图 6-30 所示。实践证明，这样可减轻切削振动，增加切削的稳定性。

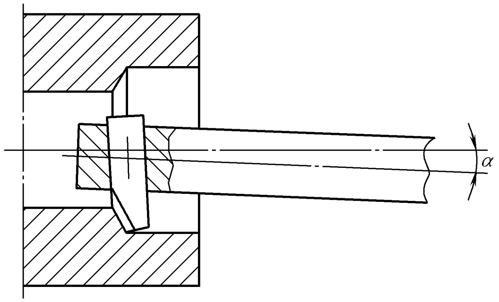


图 6-30　使切削平稳的措施

它的机理是：拿一支竖直或向前倾斜的粉笔，在黑板上作平行的直线划动，就可能出现跳动现象；如果使粉笔向后倾斜，就会顺畅平稳。这就是俗话说的分别为“戗碴”和“顺碴”状态。刀杆向内倾斜的内孔车刀，就处于“顺碴”状态，切削时必然平稳、顺畅。

6）内孔车刀的其他装夹要领与外圆车刀相同。

（3）内孔车刀的排屑　在第 5 章对内孔车刀的特殊性进行了分析，现仅就排屑问题归纳如下：

1）刃倾角。内孔车刀的刃倾角一般应选择正值，使切屑不触及已切削表面，增大了切屑的移动空间。

2）卷屑槽斜角决定切屑的流向。当切削不通孔或直径较大的内孔时，为引导切屑向反方向排出，多采用外斜式卷屑槽；在车削通孔时，可采用内斜式卷屑槽，并选用较小的反屑角，形成螺旋状长紧卷屑，如有可能，可创造条件，使切

屑通过主轴孔流出。

3）当内孔车刀刚度较好时，可采用断屑措施：

①增大主偏角，可在进给量相同的条件下，切屑变厚，以利于断屑。

②减小卷屑槽半径和宽度，可减小切屑的弯曲半径，增加切屑的变形程度。

③增大反屑角，使切屑在流出时，在反屑面作用下弯曲变形。反屑角越大，切屑的变形也越大，从而达到断屑效果。

（4）典型内孔车刀　图 6-31 为典型内孔车刀，它的特点是：

1）主偏角 $\kappa_r = 75°$，可减小车刀的径向抗力。

2）刃倾角 $\lambda_s = 6°$，切屑可迅速远离切削表面，向待切削表面排出。

3）采用内斜式卷屑槽，形成前高后低、前窄后宽状态，从而使切屑呈圆锥形螺旋状，流向待加工表面。

4）刀尖位于刀杆的中心水平面，可最大限度地增大刀杆的横截面积，提高车刀的综合刚度。

5）前角 $\gamma_0 = 15°$，并有宽度为 0.2mm、$-5°$的负倒棱，可切削塑性金属材料。

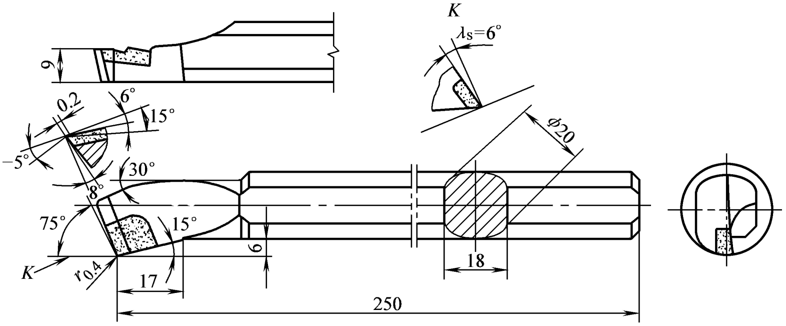


图 6-31　典型内孔车刀

2. 车内孔操作要领

车内孔的操作步骤与车外圆大体相同，但进退刀方向正好与车外圆相反。

在车削有精度要求的内孔时，分粗车和精车两个阶段。

（1）基本步骤

1）毛坯件上有孔时，可直接粗车内孔。如毛坯上无孔，则应按孔径尺寸小 1.5 ~2mm 钻孔。

2）根据孔径的大小和深度，正确选用和装夹内孔车刀。

3）根据工件材料选用合适的切削用量，调节主轴转速和进给量。

4）车削内孔与车削外圆一样，也必须进行试切，以控制尺寸。

（2）粗车

1）内孔分为通孔、不通孔和台阶孔，内孔车刀也应根据内孔的性质选择，如图6-32所示。通孔车刀与外圆车刀相同。不通孔车刀是车削不通孔或台阶孔的，它的主偏角大于90°，刀尖到刀杆外端的距离 a 应小于内孔半径，以便于将底面车平。车台阶孔时，在车平端面后，刀杆外侧与外孔壁也应留有一定的间隙。

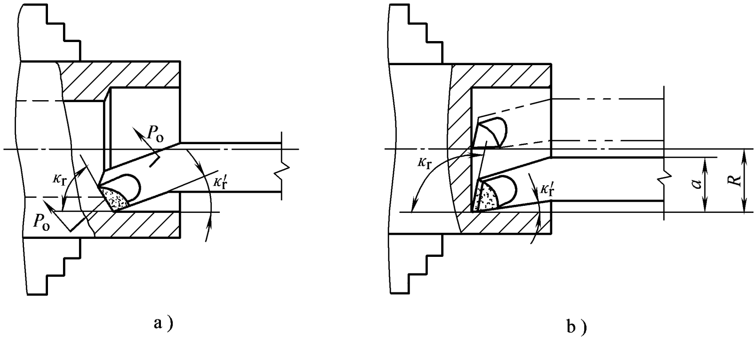


图6-32　内孔车刀
a）通孔车刀　b）不通孔车刀

2）根据切削余量和刀杆刚度，合理分配每次的进给量。最后一次的粗车尺寸应留有0.1～0.5mm作为精车余量。

（3）精车

1）测量待精车孔的实际尺寸。

2）起动车床，将精车刀主切削刃与孔壁接触，确定背吃刀量的起始位置后，纵向退出。

3）根据精车余量进给背吃刀量。

4）摇动床鞍手轮进行试切，试切长度约5mm。

5）用内卡钳或内径百分表测量试切尺寸，达到精度要求后，即可机动进给。

6）在采用硬质合金精车刀进行精车时，背吃刀量 $a_p=0.1\sim0.2$mm，进给量 $f=0.02\sim0.08$mm/r。

7）车削加工精度和表面质量要求较高的内孔，可采用宽修光刃的高速钢车刀进行低速精车。

6.2.4　深孔的精密加工

在车削较深的精密通孔时，由于内孔车刀刀杆细长、刚度很差，会产生“让刀”和切削振动现象，使加工精度和表面粗糙度达不到技术要求，甚至会产

生废品。为此，可采用以下的方法。

1. 支承长刀杆

为提高内孔车刀的刚度，可采用滚动轴承支承长刀杆的方法，如图 6-33 所示。在车床主轴 1 的圆锥孔内安装一个带滚动轴承 3 的轴承座 2，刀杆 6 的外径与轴承内径作间隙较小的动配合，尾端装夹在刀架上。找正中心后，纵向移动刀杆，使刀杆与轴承的配合在移动的范围内轻松自如后，不再摇动中滑板。这时再安装刀头 5，根据背吃刀量调节刀头的径向位置并紧固后开始机械进给。

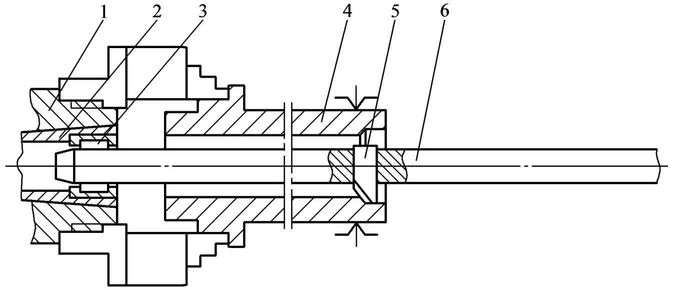


图 6-33　内孔车刀杆支承措施

1—主轴　2—轴承座　3—滚动轴承　4—工件　5—刀头　6—刀杆

为保证加工精度，刀杆应有较高的尺寸精度、形位精度和 R_a0. 8μm 以上的表面粗糙度，所以应采用顶住两端的中心孔进行磨削加工，以保证尺寸精度以及圆柱度、直线度、圆跳动精度的技术要求。为便于调整刀杆轴线与主轴旋转轴线重合，可将刀杆支承在滚动轴承 3 和尾座顶尖之间，并在这种状态下，将刀杆装夹在刀架上。

加工深孔的突出问题是排屑。首先从刃磨合适的卷屑槽入手，尽量采用外斜式卷屑槽，形成细长卷式圆锥形切屑，向后排出，或者采用平行式卷屑槽，并在加大进给量的配合下断屑，再采用高压注入冷却液，将切屑及时消除，当然还应增大容纳切屑的空间和后侧排屑的通道。

支承长刀杆加工精密通孔的方法，可大大提高内孔车刀的刚度，因此，可适当提高主轴转速、进给量和背吃刀量，在提高生产效率的同时，也提高了内孔的加工和表面质量。

2. 浮动镗刀车孔方法

浮动镗刀的车孔方法是将具有正反对称的两切削刃的刀头，动配合安装在刀杆的方孔中，刀头可作径向自由浮动，并自动对准底孔，即待加工表面的中心，如图 6-34 所示。

这种切削方法，使正反两切削刃均匀地担负切削，作均衡的对称切削，从而相互抵消了径向抗力，使得刀头中心始终与工件旋转中心同轴，从而提高了内孔

车刀的刚度，使切削平稳。浮动镗刀车孔可用于孔径 ϕ30mm 以上的通孔的精加工，可获得 R_a0. 8μm 以上的表面粗糙度值和 IT8 以上的尺寸精度。

浮动镗刀的结构有整体式和装配式两种，当车削较大的孔径时，可采用装配式，以便于调节径向尺寸。精镗刀头可采用外圆车刀修光刃的形式，在平直修光刃的前后端，刃磨 2°或 R2 的过渡刃。

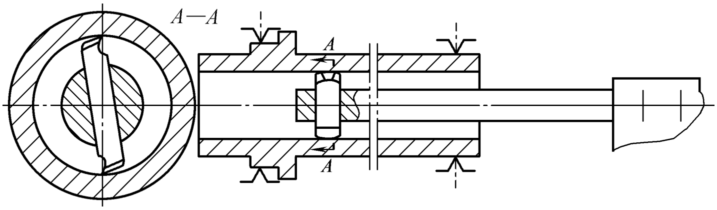


图 6-34　浮动镗刀车孔工艺

但是，浮动镗刀只随着底孔的轴线切削，而不能改变底孔的直线度和同轴度。因此，在采用浮动镗刀时，必须首先保证底孔的加工精度，即既有合适而均匀的加工余量，又有良好的表面直线度和同轴度等形位精度。为此，可先采用图 6-33 支承长刀杆的方法加工底孔后，再浮动镗孔。

除此，在使用浮动镗刀车孔时，还应注意以下问题：

1）刀头与刀杆方孔必须保持间隙配合，配合间隙不大于 0. 02mm。

2）刀杆应与工件旋转中心重合，方孔应周正平滑，中心线应通过主轴轴线，内侧面应垂直于工件旋转轴线。

3）刀头正反两切削刃应对称平行，应位于工件内孔的对称轴线上，并和车床旋转轴线平行。

4）浮动镗刀只适用于连续切削，严禁进行孔壁有沟槽等的断续切削。

5）在使用高速钢刀头切削时，应选用较小的切削用量，加工余量应小于 0. 2mm，切削速度为 10m/min，进刀量为 1mm/r 左右，并加注足够的冷却液。

6）浮动刀头应有足够的强度和耐磨性，以防止切削刃磨损，影响加工质量。

7）为及时消除切屑，必要时，可采用高压泵注入冷却液。

6. 2. 5　内孔测量技术

在车削内孔过程中，无论是试切过程、车孔过程还是切削完成后的检验，都必须对内孔的尺寸精度和形位精度进行测量。由于内孔结构的特殊性，使内孔的测量技术增大难度。

1. 测量孔径尺寸的常用量具和测量方法

在测量孔径的尺寸精度时，应根据尺寸精度和切削状况选择量具。当尺寸精

度要求较低时，可用钢直尺或游标卡尺测量；当尺寸精度要求较高时，可用内径千分尺、内径百分表、塞规或内卡钳测量。在试切时可用内测千分尺或内卡钳测量。

（1）内径千分尺　测量内径的千分尺有内测千分尺和内径千分尺两种。当孔径小于 25mm 时，可用内测千分尺测量，它的刻度线方向与外径千分尺相反。使用时，两个量爪必须确定在相对应的最大直径上垂直测量，如图 6-35 所示。内测千分尺只能测量内径的前端尺寸，多用于试切过程的测量。

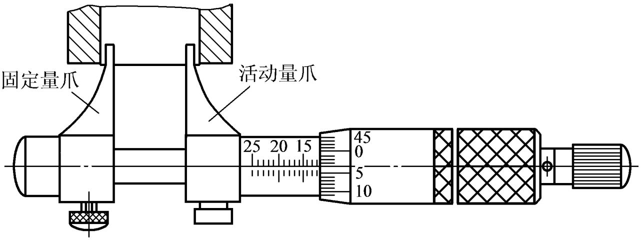


图 6-35　内测千分尺

当孔径较大时，可用内径千分尺。在测量前，根据被测孔径选好测头和接长杆，将它们安装到内径千分尺的微分头上。测量时，测量头应以测微头位固定支点，在孔内反复作径向和轴向摆动向前推进，在径向找出最大尺寸，轴向找出最小尺寸，即使两测量头的轴线垂直通过孔的中心，这时的千分尺读数，就是孔径的实际尺寸，如图 6-36 所示。

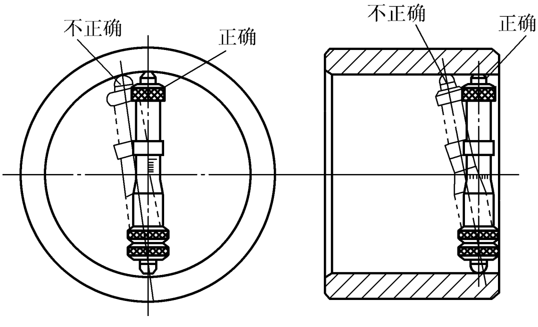


图 6-36　内径千分尺测量孔径的摆动方法

内径千分尺只适用于测量较浅的孔径，操作时也有难度，所以应重复测量几次，以取得正确的测量结果。

（2）内径百分表　内径百分表是常用的内径测量工具，它的特点是操作比较简单，并可测量较深的孔径。内径百分表的使用方法是：

1）根据孔径大小选用接长测量头。

2）将测量头装夹在测量杆上并调节伸出长度，使两测量头的垂直长度比被测内孔的直径加大 0. 25mm 左右作为压表量。

3）调正内径千分表的零位。常用的方法是用外径千分尺定位。

在旋进时，将千分尺调至被测孔径的名义尺寸后，食指和中指夹住微分筒，

拇指托住测微螺杆的测量面向上施压后锁紧，这样作是为了消除测微螺杆的磨损造成的配合误差。

然后将百分表两测量头放入千分尺业已固定的两测量面之间，并以一端测头为固定支点，将另一端测头绕支点作前后左右摆动，取百分表的最小读数，将刻度调至零位，待用。

还有采用标准环规调正百分表零位的。

4）将调整好零位的内径百分表放入被测的内孔中，一端的测头以另一端固定不动的测头为支点，在通过内孔轴线的孔壁上作轴向前后摆动，取百分表的最小读数，即为所测尺寸与名义尺寸的偏差值，如图 6-37 所示。

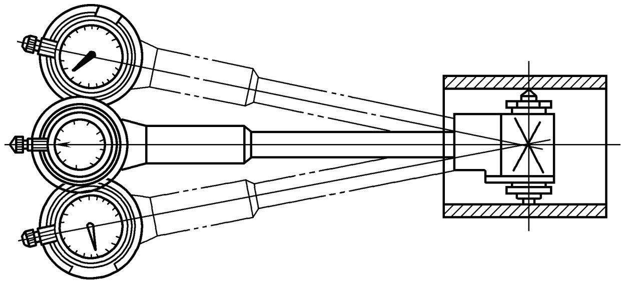


图 6-37　内径百分表的测量方法

（3）用塞规检测　在大批量生产时，用塞规检测精度较高的内孔。塞规也分通端和止端。孔的直径在两测量端的范围内，其尺寸即达到精度要求。

在使用塞规时，应使塞规的轴线与孔的轴线重合，才能得到正确的测量结果。否则塞规歪斜，即使是尺寸精度合格的内孔，通端也不能进入。

（4）内卡钳的使用技巧　用内卡钳检测内孔是传统的常用方法，它可以粗测量，也可以精测量。精心操作，测量精度可达 0.01mm 以内，是车工操作中重要的基本功之一。下面根据作者积累的实践经验，对内卡钳的使用技巧作简单阐述。

1）内卡钳的修整。内卡钳的使用性能是测量内孔精度的关键。内卡钳主要检验和修整的部位是：

①两个量杆应光滑平直，并有一定的弹性。

②铆钉铰链应松紧适度，使两量杆运行柔润圆滑，即能稳定在某一位置上，又能根据需要在外力作用下自如地柔性张合。

③两量脚端点应相对于铰链的轴心对称，并分别修整成小圆球面，并用磨石研磨，以形成光滑的圆点。这对于提高测量精度至关重要。

2）调整内卡钳测量尺寸。当测量车好的内孔时，应首先调整内卡钳的测量尺寸，即被测内孔的名义尺寸，其方法如图 6-38 所示。

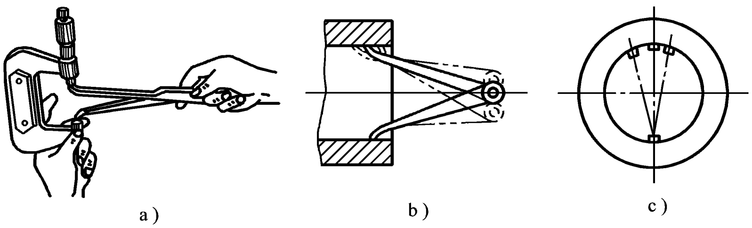


图 6-38　内卡钳测量内孔

a）内卡钳在千分尺上量取尺寸　b）、c）内卡钳测量内孔

①在旋进状态，将千分尺读数调整到被测内孔的名义尺寸。

②用食指和中指夹住微分筒，拇指托住测微螺杆的测量面，并向上施压后锁紧固定。

③左手握住尺架尾部，右手握住内卡钳，食指探出，以控制卡钳的摆动。以左手中指为依托，将内卡钳的一量脚固定在千分尺的固定测量面（测砧）上作为支点，使另一量脚绕支点作前后、左右扇形摆动，并调节内卡钳的张开尺寸，使两测量脚在摆动的最高点处，即通过千分尺两测量面的轴线位置上，有轻微的接触感。这时，内卡钳两量脚的距离，即为被测内孔的名义尺寸。

3）测量内孔。测量时，将调整好的内卡钳的一量脚，固定在下孔壁上作为支点，另一量脚先绕支点作轴向摆动，找出顶点位置，如图 6-38b 所示。随之在顶点位置作径向摆动，如图 6-38c 所示。如果有轻微的接触感，即说明内孔尺寸正确。

4）当孔径尺寸在公差范围以下时，可调节内卡钳的张开尺寸，用同样的方法测定内孔的实际尺寸后，进行修正。

2. 检测孔的形位精度

（1）形状精度的检测　在车床上加工的圆柱孔，形状精度一般只检测孔的圆度和圆柱度。当孔的形状精度要求不高时，常用内径百分表进行测量。

1）检测孔的圆度。采用测量孔径尺寸的方法，选取几个检测点，并在圆周各个方向上测量，取百分表各差值的平均差，即为内孔的圆度误差。

2）检测孔径的圆柱度。可取孔壁的前、中、后几点，比较其测量值，其各点中的最大值和最小值之差的一半，即为孔径的圆柱度误差。

（2）位置精度的检测　一般是检测孔的径向圆跳动和端面对轴线的垂直度。

1）检测径向圆跳动。检测孔相对于外圆的径向圆跳动精度，可将工件放置在精度较高的 V 形块上，将杠杆百分表的测杆与内孔表面接触，转动工件一周后，观察百分表指针的跳动状况，其跳动的最大差值，即为工件内孔相对于外圆的径向圆跳动误差，如图 6-39 所示。

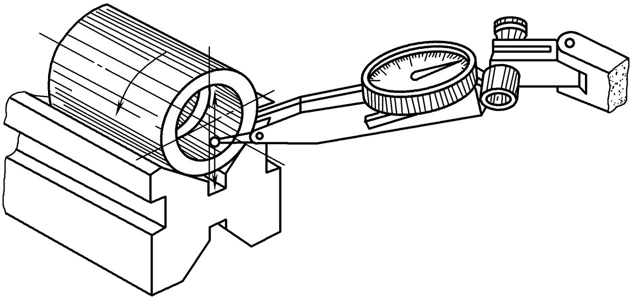


图 6-39　工件装在 V 形块上检验径向圆跳动误差

2）检测端面垂直度。检测端面相对于轴线的垂直度，也应首先检测端面的圆跳动后，再检测端面的垂直度，其检测方法如图 6-40 所示。

先把工件 2 套在配合较好的心轴 1 上，共同装夹在 V 形块的 V 形槽内。在百分表 4 与工件接触后，在端面圆周上作平行移动，检测端面圆跳动合格后，再沿端面的一侧作由内向外的平行移动，百分表的读数差即为端面相对于内孔轴线的垂直度误差。

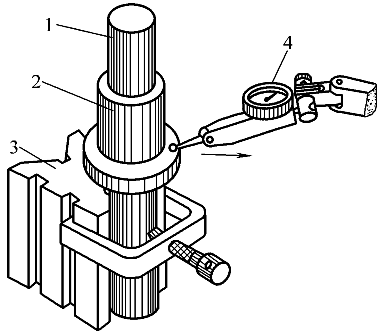


图 6-40　检验工件端面垂直度的方法

1—心轴　2—工件　3—V 形块　4—百分表

【实例 6-2】　车深孔的有序排屑实例

在 1963 年我们车削了一批 40Cr 的深孔套筒，一端用四爪单动卡盘夹持，另一端用中心架支承。开始在粗车加工时，采用常规的内孔车刀，出现的突出问题是排屑不畅，切屑杂乱无章地环绕堵塞在内孔和刀杆上，使切削刃受到损伤，不得不经常退出车刀，清除切屑后再继续切削，影响切削效率。又由于刀杆太长，刚度较差，很难实现断屑。经研究和试切修正，我们采用了刃倾角为正的内孔车刀，使切屑向车床主轴锥孔方向流动，并沿着主轴孔有序排出，如图 6-41 所示。

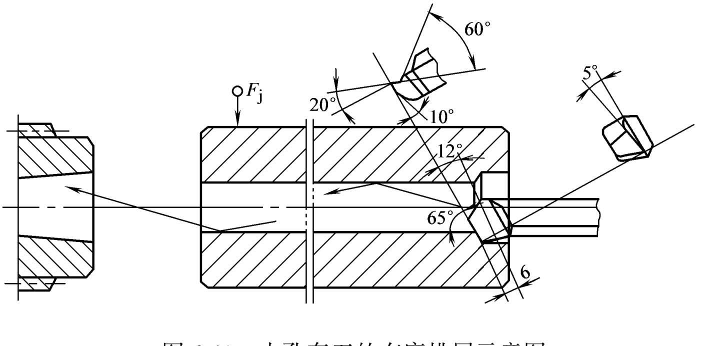


图 6-41　内孔车刀的有序排屑示意图

内孔车刀的刃倾角 $\lambda_s = 5°$，采用直线圆弧型内斜式卷屑槽，选取较为开放的反屑角 $\delta_{BN} = 60°$，使排屑流畅，切屑卷曲而不折断。倾斜角 $\tau = 12°$，使卷屑槽前窄后宽、前浅后深，前槽宽 $L_{BN} = 6\text{mm}$。这样在采用进刀量 $f = 0.5\text{mm}$ 时，在切削速度较高的前端，切削从刀前角流出后，先接触反屑面，并以较小的弯曲半径弯曲；而在切削速度较低的后端，由于卷屑槽较宽较深，切屑则以较大的弯曲半径弯曲，形成表面光滑的圆锥形螺旋切屑，连续不断地向未加工表面的方向流出。

切屑能否按预设的方向向主轴轴孔流动，还取决于以下几个因素：

1）主偏角 κ_r 可基本确定切屑的大体流向。内孔车刀采用主偏角 $\kappa_r = 60°$，可导致切削流向的倾斜度平滑，易于沿内孔流动。

2）切削用量可影响切屑的变形程度。增大进给量，切削层厚度增大，切屑的变形程度随之增加，即易于折断。提高切削速度，急剧上升的切削温度可使切屑变软，从而提高了切屑的韧性而不易折断。因此在选择或调整切削用量时，使切屑变形小，从而表面光滑而无明显的裂痕，具有一定的韧性而不被折断，达到有序排屑的效果。

6.2.6　车内孔的切削缺陷分析

车内孔时，常见切削缺陷产生的原因和防止措施，见表 6-3。

表 6-3　常见切削缺陷产生的原因和防止措施

易出现的问题	产 生 原 因	解 决 措 施
尺寸精度超差	（1）量具不准确或测量时的人为误差 （2）车刀装夹不当,刀杆与孔壁相碰 （3）积屑瘤增大刀尖长度,使孔径变大 （4）工件粗车后,未冷却就精车	（1）校准或更换量具,测量时要掌握正确方法,集中注意力 （2）选择合理的刀杆,加工前先试走一遍,检查是否发生碰撞 （3）采用合适的切削速度和切削液,增大前角 （4）精车前应待工件冷却
圆度超差	（1）加工套类零件时,孔壁薄产生夹紧变形 （2）工件加工余量或材料组织不均匀 （3）主轴径向轴承间隙过大或主轴轴颈不圆	（1）采用合理的装夹方法 （2）在粗车与精车之间增加半精车或对毛坯进行合适的热处理 （3）调整主轴径向轴承特别是前轴承的间隙,修理主轴轴颈

（续）

易出现的问题	产生原因	解决措施
内孔有锥度	（1）工件没有找正中心 （2）刀杆刚性不足 （3）主轴轴线与机床导轨不平行 （4）刀具在加工同一工件时，产生较大磨损	（1）加工前仔细找正工件中心 （2）增加刀杆刚性或减小切削用量 （3）调整主轴箱位置，使主轴轴线与导轨平行 （4）选择耐磨性能较好的刀具材料
表面粗糙度差	（1）切削用量不当 （2）加工时发生振动 （3）刀具几何角度不合理 （4）刀尖低于工件中心	（1）适当降低切削用量 （2）增加刀杆截面，增大其刚性；降低切削速度 （3）选择合理的刀具几何角度 （4）安装刀具时，注意刀尖位置

6.3 切断和车沟槽操作

6.3.1 切断工艺的特点

在采用棒料进行切削时，加工完成后，把工件从原材料上切割下来的加工方法叫切断。切断工艺的特点是：

1）切断操作一般是以横向进给为主的切削形式，切断刀的前端是主切削刃，两侧有对称的两个副切削刃，所以有两个副后面和两个刀尖。

2）为了节约原材料和使工件完全切下，一般切断刀的主切削刃较窄，刀头较长，所以刀头的刚度较差，容易产生振动。

3）在切断时，切屑不仅受到前面的摩擦，还收到被切削表面两侧的摩擦和挤压，因此产生大量的切削热。由于刀头散热面积小，又处于半封闭状态，所以散热条件很差，切削热量多集中在切削刃部，使温度升高而磨损加快，特别是在两刀尖处的磨损程度更为突出。

4）切削刃受到的单位切削力大。在切削用量相同的条件下，很窄的切断刀切削刃所承受的单位切削力比外圆车刀大得多。

5）排屑困难。切断时，切屑从狭窄的切槽内排出，从而受到切槽两侧的摩擦和挤压，使切屑排出困难。又由于横向进给使切削速度不断变化，引起切屑形态的变化，使切屑不容易稳定排出。同时，断碎的切屑还可能夹塞在刀头的缝隙内，引起振动使刀具损坏。

6.3.2　切断刀

1. 常用切断刀的形式

根据工件材料，常用的切断刀有高速钢切断刀、弹性切断刀和硬质合金切断刀。

（1）高速钢切断刀　高速钢切断刀的几何形状和几何角度如图 6-42 所示。

主切削刃宽度 a 与被切直径 D 有关，一般为

$$a=(0.5\sim0.6)\sqrt{D}$$

刀头长度 L 应大于切入深度 h，一般为

$$L=h+(2\sim3)\mathrm{mm}$$

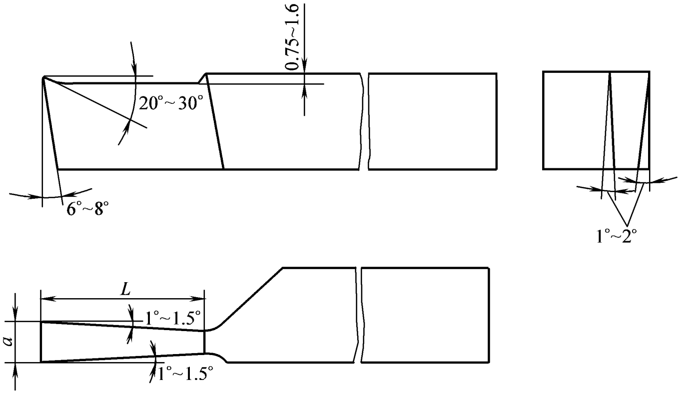


图 6-42　高速钢切断刀

（2）弹性切断刀　将片状高速钢刀片装夹在弹性刀杆上（见第 5 章图 5-1h），当进刀量过大或发生突发振动时，过大的切削力使位于弹性刀杆上部的弯曲中心变形，刀杆弹性使刀头自动向下退让，因此刀头不易扎刀或折断。弹性刀杆结构简单，可自己动手制作，片状刀片也容易刃磨，易于更换，并可多次重磨，提高了高速钢的利用率。

（3）硬质合金切断刀　典型的切削塑性材料硬质合金切断刀的几何形状和几何角度如图 6-43 所示。它的结构特点是：

1）将主切削刃刃磨成人字形，在两刀尖处对称磨成 15°的斜面，可提高刀尖的强度。

2）一般磨出宽度为 0.5mm 左右的负倒棱，以提高切削刃强度。

3）卷屑槽取斜角 3°，使切屑向外侧卷曲排出，有利于有序排屑。

4）人字形切削刃起导向作用，防止切断刀偏斜。

5）刀具材料为 YT5 或 YT15 硬质合金，进给量可达 0.3～0.4mm/r，切削速

度可达 120 ~ 150m/min，切削表面粗糙度值 R_a 可达 3.2。

图 6-44 为灰铸铁切断刀，刀片为 YG8 或 YG6 硬质合金。它的结构特点是将两刀尖磨成圆弧状，以提高刀尖的耐磨性，并在刀头底部做成鱼肚状，以增强刀头的强度。

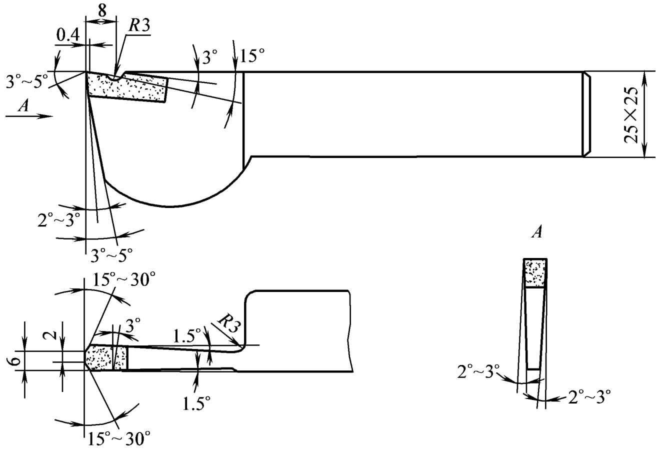


图 6-43　硬质合金切断刀

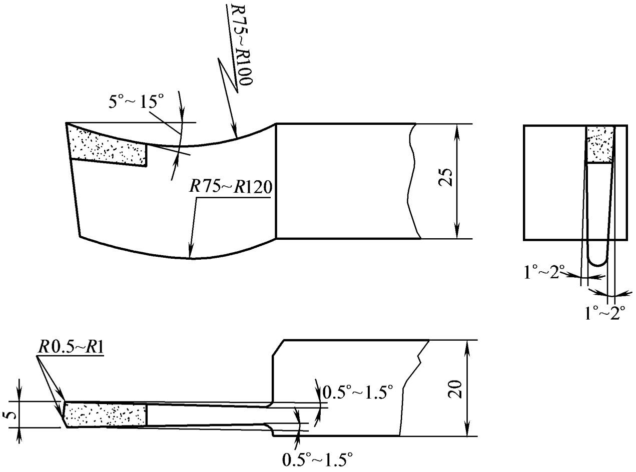


图 6-44　灰铸铁切断刀

其他形式的切断刀如图 6-45 所示。图 6-45a 和 b 在主切削刃部中间磨出 R0.5mm 左右的凸台或凹槽，可以增加刀头的支承强度，起消振作用，并可引导车刀垂直进刀，提高已切削表面的平直度。图 6-45c 为带斜刃的切断刀，是为了防止切下后的工件端面平整，不留残痕。图 6-45d 是强度较好的切断刀，在主切

削刃部和前面均磨出凸脊，使刀头具有极好的抗振性和耐磨性，适用于高速切削塑性金属或灰铸铁。

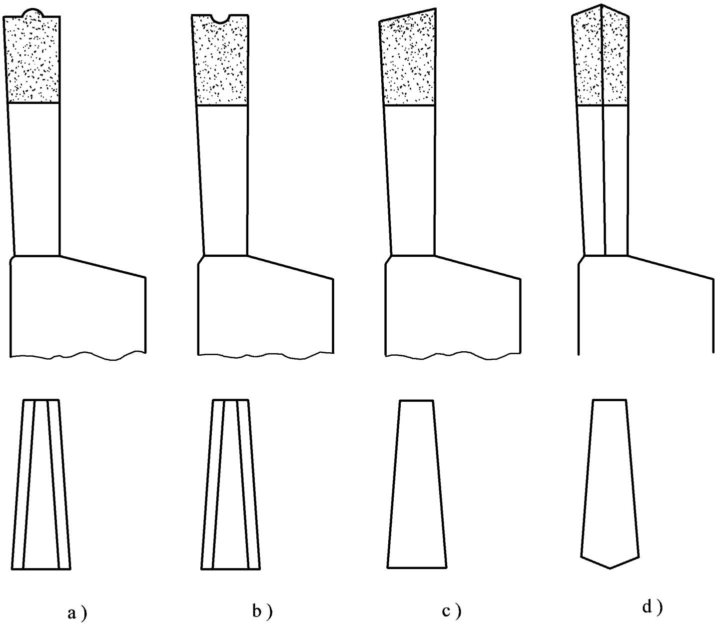


图 6-45　其他形式的切断刀

（4）反切刀　在切断直径较大的工件时，由于刀头较长，刚性较差，很容易引起振动。这时可使工件反转，用反切刀切断，如图 6-46 所示。反切断法的特点是：切削力与工件重力方向一致，不容易产生振动。同时切屑从下面排出，不容易堵塞。

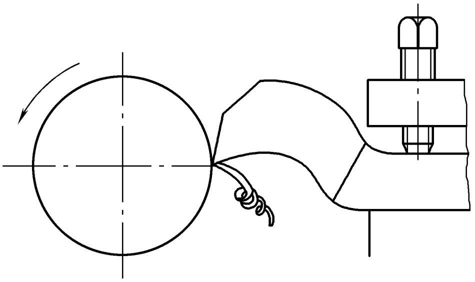


图 6-46　反切刀切断法

反切刀的形状如图 6-47 所示。

常用切断刀几何参数见表 6-4。

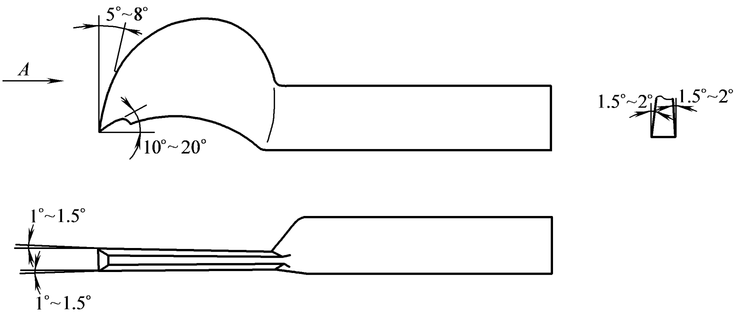


图 6-47　反切刀的形状

表 6-4　常用切断刀几何参数

加工材料	刀片牌号	前角 γ_0 /(°)	后角 α_0 /(°)	切削刃形状	副偏角 κ_r' /(°)	副后角 α_0' /(°)	负倒棱 b_r 及 γ_f	刃倾角 λ_s /(°)	卷屑槽斜角 γ /(°)	冷却条件
铸铁	YG8	8	5	平直刀	2	2	0.1×(−5°)	—	—	一般干切
碳钢	YT15	8~16	4~6	平直刀和倒角刃	1°30′	1°30′	(0.1~0.2)×(−10°~−5°)	−2	3~5	乳化冷却液
合金钢	YT15	5~12	4~6	宝剑形刃 ε_r=120°~160°	2	2	(0.1~0.3)×(−10°~−5°)	—	3~5	乳化冷却液
不锈钢	YG6	5~25	4~6	凸台分屑形刃	2	2	(0.1~0.15)×(−6°~−3°)	−2~−4	4~6	乳化冷却液
纯铜	W18Cr4V	5~25	6~8	平直刀	2	2	—	—	全圆弧形	乳化冷却液
脆铜	W18Cr4V 或 YG6	10~20	4~6	波形刀	1°30′	1°30′	—	—	—	一般不用

2. 切断刀的刃磨

刃磨切断刀的基本程序与刃磨外圆车刀大体相同。但也有它的特殊性。

刃磨切断刀的一般程序是：

1）修整刀体的底平面，使刀体平直稳定。

2）粗磨前面，使前面与刀体底平面平行。

3）粗磨主后面，主切削刃与砂轮外圆平行，刀体与砂轮倾斜 6°~8°，以形成正确的主后角。

4）以刀体左侧平面为基准，磨刀体左侧的副后面，同时保证副偏角和副后角。

5）刃磨右侧的副后面，兼顾满足以下要求：

①以刀头中心为对称轴，保证主切削刃宽度 a。

②保证刀头长度 L。

③磨出副偏角，并保证副后角。

6）精磨前面，刃磨卷屑槽。最好采用带斜角和较宽的开放式卷屑槽，以形成半径较大的卷屑，向同一侧有序排出。同时还应保证需要的前角。

7）精磨主后面和过渡刃、切削刃倒角。

3. 几何参数的控制

检测切断刀刃磨质量的方法主要是目测检验，必要时可使用 90°角尺进行检测。检测的主要内容有：

1）检测刀体底面的平直度。将切断刀以装夹形态放置在平台上，应稳定可靠，无翘角、扭挠等现象。

2）刀头部分应偏向刀体左侧，以便于切削刃靠近卡盘。

3）两副后角应平直，刀头宽度应对称向后沿副偏角减小，以形成前宽后窄的形式，以避免副后面参与切削，引起振动或扎刀。

4）两副后角应对称相等，使刀头上宽下窄，但要保证刀头的整体强度。

5）主切削刃应平直光滑，两刀尖应完全对称，以防止两侧受切削抗力不平衡而倾斜，从而导致已切削表面出现凸凹现象。

6.3.3　切断操作

1. 车刀的装夹

装夹切断刀，应满足车刀工作角度和标注角度的一致性。主要应注意以下几点：

1）在切断实心工件时，主切削刃应与工件旋转中心等高，不能过高或过低，以免车刀在接近中心时，产生崩裂现象，如图 6-48 所示。

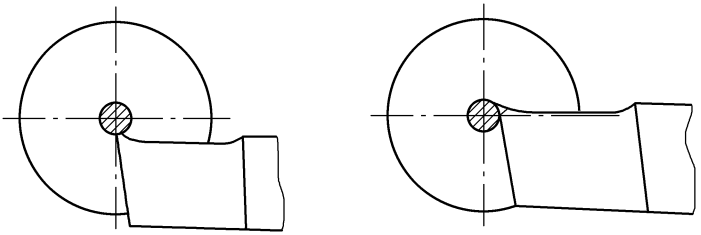
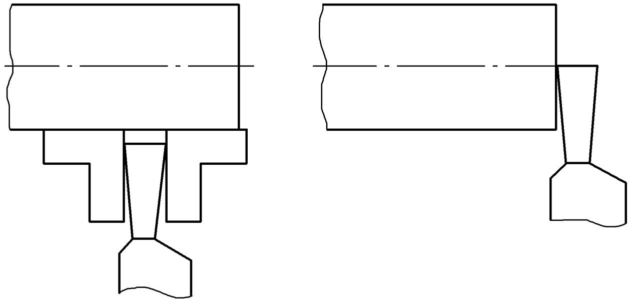


图 6-48　切断刀的高或低

2）刀头中心线应与工件旋转中心垂直，以保证两副偏角对称，使它们有相同的倾斜间隙。一般采用90°角尺或工件端面的方法保证副偏角的对称度，如图6-49所示。



a）　　b）

图6-49　保证切断刀副偏角的均衡

3）刀体垫片应整齐平直，使刀体底平面平行，以保证两副后角对称相等。

4）刀头伸出不宜过长，以保证刀具的刚度。

2. 操作要领

切断的方法有直进法和反切法，当切断较大直径的工件时，如果工艺系统刚性不足时，可采用左、右借刀法，即使车刀在横向进给一段深度时，退出车刀，再纵向移动小于切削刃宽度的距离后，再重新进刀，在横向和纵向轮番进给过程中，将工件切断。它的不足是费工费料，只在特殊情况下采用。

切断工艺的操作要领是：

1）为提高车床移动系统的刚度，调紧中小滑板镶条，使移动间隙尽可能小些，必要时，也应锁紧床鞍，以防止振动位移。

2）在采用反切断法切断操作时，卡盘与主轴联接部分，必须设置保险装置，以防止卡盘反转时从主轴上脱落而发生事故。小滑板转盘两边的压紧螺母也应锁紧，以免受损。

3）根据工件材料和刀具材料，选择和调整主轴转速。用高速钢车刀切断碳钢材料时，切削速度约20～30m/min，切断灰铸铁材料时，切削速度约15～25m/min；用硬质合金刀切断，切削速度约45～60m/min。

4）用钢直尺或卡尺确定切断位置。在切断不规则的毛坯时，应先用外圆车刀车圆后，再确定切断刀位置，以保护切断刀。

5）在切断时，应先采用手动均匀进给，待排屑正常后，再采用机械进给。

6）手动或机动进给切断时，应连续均匀，进给量一般采用0.1～0.3mm/r。切断中途不能停顿，以防止主切削刃与切削表面摩擦而产生的冷作硬化层，使刀

具磨损加快。如中途停止进给，应先退刀后停车。

7）当切断直径较大或长度较长的工件以及用顶尖装夹工件时，为了安全，不必完全切断，可留出能够折断的直径后退刀停车，用手扳断。

8）在用高速钢切刀切断塑性材料时，应使用充分的切削液，以减轻摩擦，降低切削区域的温度。

3. 提高切断效果的措施

为减轻切削振动和顺利排屑，提高切断操作的质量和效率，应采取如下措施：

1）适当地加大前角和减小后角。加大前角，可减小切削阻力，使排屑顺畅；减小后角，可增强刀头刚性，并使主后面对工件起依托作用，以减轻切削振动。

2）两刀尖及两侧的副偏角、副后角应对称相等，使切削力处于平衡状态，以保证切断刀的垂直进给。

3）加大卷屑槽宽度和卷屑槽圆弧半径，以形成卷曲半径较大的切屑，及时排出槽外。

4）应选取合理的外斜式卷屑槽，以引导切屑向偏外方向有序排出。

5）为减小振动，可适当降低主轴转速和加快进给速度。

6）调小主轴和中、小滑板各部的配合间隙，以增强车床的整体刚度。

6.3.4　车沟槽操作

在零件上设置沟槽，一是为了便于后序的加工，如车削螺纹的退刀槽、磨削加工的越程槽等；二是保证零件在装配时，轴向定位的准确性，如轴肩槽；三是为随意移动或紧固用的 T 形槽和燕尾槽等；四是在相互移动的配合面上，设置不同形式的润滑槽，以及起密封或防尘作用的密封槽和防尘槽等。

沟槽的结构形式有矩形槽、成形槽、斜沟槽和端面槽等。根据沟槽部位，可分为外沟槽和内沟槽。

1. 矩形槽的切削

在车削矩形槽时，车槽刀的几何参数和安装方法与切断刀大体相似，它们同样具有两个对称的刀尖、副偏角和副后角，主切削刃与工件轴线平行。

切削矩形槽的基本方法是：

1）在切削较窄的矩形槽时，主切削刃宽度与沟槽的宽度相等，刀头长度略大于槽深，车刀一次直进车出。

2）车削较宽的矩形槽，可用较窄的切槽刀，分几次左右窜刀粗车，在槽底面和两侧面留出余量后，用精车刀车至尺寸，如图 6-50 所示。

2. 成形槽的切削

成形槽包括圆弧槽和梯形槽等。

1）较窄的圆弧槽或梯形槽，将车槽刀刃磨成与成形槽的形状和尺寸相同的形式，一次横向进给车出。

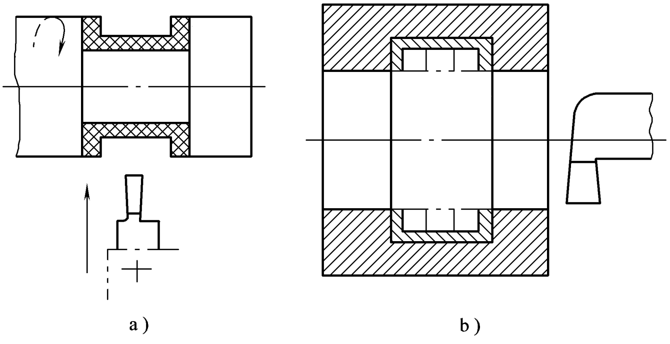


图 6-50　内沟槽车削方法

2）较宽较深的成形槽，特别是内孔的成形槽，由于受到车刀刚度的制约，往往采取以下两种方法：

①分两步切削。一般是先用切槽刀车出直槽，然后用成形刀车削成形，如图 6-51 所示。

②左右窜刀进给或斜向进给。当成形槽特宽特深时，可在中滑板横向进给的同时，摇动小滑板，使车刀作或左或右的微量移动，形成单面切削的左右窜刀进给；或在中滑板横向进给的同时，摇动小滑板，使车刀沿一个方向作微量移动的单面斜向进给。粗车后留有余量，再用精车刀车至尺寸。

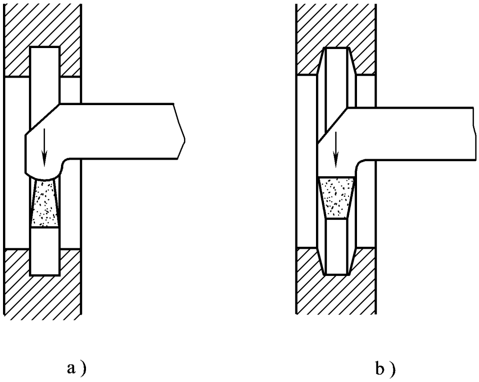


图 6-51　梯形密封槽的车削方法
a）车直槽　b）车梯形槽

3. 斜沟槽的切削

斜沟槽是用于同时磨削圆柱面和端面的越程槽，形成圆柱面和端面两个方向的空刀。

斜沟槽分直线形和圆弧形，一般倾斜度为 45°，切槽刀具有内孔车刀的特点，应当根据沟槽圆弧的大小，在切削刃各部，都应磨成相应的圆弧后角，如图 6-52 所示。

切削时，将小滑板转到 45°，用小滑板一次切削成形。

4. 端面槽的切削

切削端面槽的切槽刀，具有外圆车刀和内孔车刀的综合特性，内外两个刀

尖，一个相当于外圆车刀，另一个相当于内孔车刀。因此，应根据它们各自的切削特点，刃磨切槽刀。

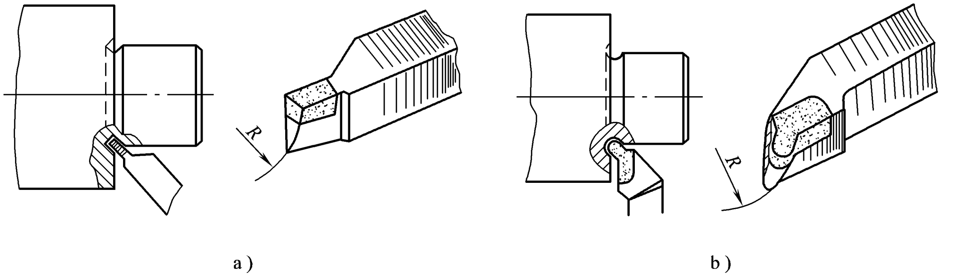


图 6-52　斜沟槽切削

（1）车端面直槽　端面直槽切槽刀的几何形状如图 6-53 所示。车刀外侧刀尖 a 相当于车削内孔，因此它的副后面应按端面圆弧的大小，磨出相应的圆弧形副后角 R，以防止副后面与外槽面相碰。

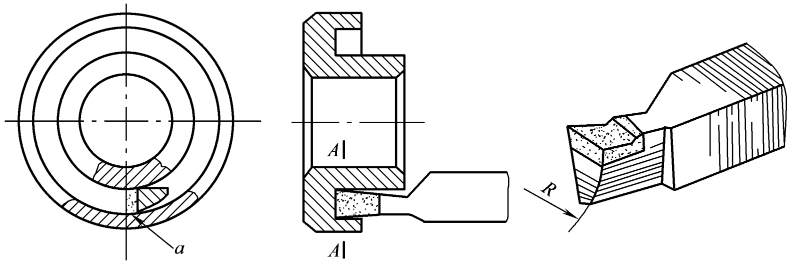


图 6-53　端面直槽车槽刀的几何形状

（2）车 T 形槽　车 T 形槽，应用三种车刀分三步进行，如图 6-54 所示。

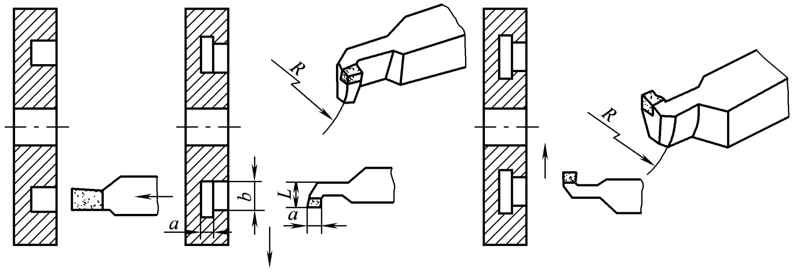


图 6-54　T 形槽车刀与 T 形槽的车削方法

1）用端面直槽切槽刀，纵向进给，车出端面直槽。

2）改用弯头右切槽刀，如同车内孔直槽，车出外侧沟槽。

3）用弯头左切槽刀，车出内侧沟槽。

（3）车燕尾槽　车燕尾槽的步骤和方法与切削 T 形槽的方法基本相同，也用三种车刀分三步进行，即先车端面直槽后，分别使用左、右斜面成形刀，使燕尾槽成形，如图 6-55 所示。

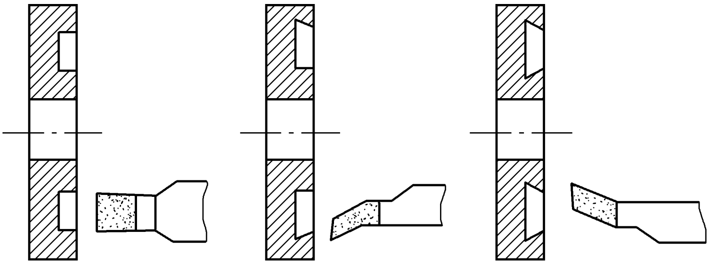


图 6-55　燕尾槽的加工顺序

在车削 T 形槽和燕尾槽时，车削外侧的切削刃，也应按照内孔车刀的原则刃磨。又由于端面直槽的宽度有限，左、右弯头切槽刀和左、右斜面成形刀的刀杆较细，刀头的强度较差，所以应适当减小进给量，并随时观察排屑状况，及时清除。在使用高速钢车刀时，也应降低切削速度，并加注切削液。

6.3.5　切断和车沟槽常见切削缺陷分析

切断和车沟槽常见切削缺陷产生的原因和防止措施，见表 6-5。

表 6-5　切断和车沟槽常见切削缺陷产生的原因和防止措施

易出现问题	产 生 原 因	解 决 措 施
沟槽尺寸不正确	（1）主切削刃太宽或太窄 （2）没有及时测量或测量不正确 （3）尺寸计算错误	（1）根据沟槽宽度刃磨主切削刃宽度 （2）车槽过程中及时、正确测量 （3）仔细计算尺寸，对留有磨削余量的工件，切槽时必须把磨削余量考虑进去
切下时工件表面凸凹不平	（1）切断刀强度不够，主切削刃不平直，切削是由于切削力作用使刀具偏斜，切下的工件凸凹不平 （2）刀尖圆弧刃磨或磨损不一致，使主切削刃受力不均而产生凹凸面 （3）切断刀安装不正确 （4）刀具角度刃磨不正确，两副偏角过大而且不对称，降低了刀头强度，产生“让刀”现象	（1）增加切断刀的强度，刃磨时必须使主切削刃平直 （2）刃磨时保证两刀尖圆弧对称 （3）正确装夹切断刀 （4）正确刃磨切断刀，保证两副偏角对称
被切表面粗糙度不符合要求	（1）两副偏角太小或车刀装夹不正确，副后面与工件产生摩擦 （2）切屑划伤已加工表面	（1）正确选择副偏角，并保证装夹时两副偏角对称 （2）正确刃磨卷屑槽，控制切屑的形状和流向

6.4 圆锥面的车削技术

圆锥面配合定位准确、配合间隙小、拆卸方便，在机械装备与工具中应用很广。如车床主轴和尾座的圆锥孔与顶尖和钻头柄的配合、齿轮的定位锥孔与轴的配合、圆锥管螺纹以及水阀和气阀的密封配合等。

6.4.1 圆锥的基本知识

1. 圆锥配合的特点

1）圆锥面配合的同轴度精度高，通用性能好。

2）定位稳定可靠，有极好的互换性能，重复安装时，仍有原来的定位精度。

3）具有无间隙配合的性能，对水、气等流体物质起密封作用。

4）当圆锥角小于3°时，有稳定的自锁作用，可传递较大的扭矩。

5）拆卸方便，并便于维修。

2. 圆锥面的形成

圆锥面的形成过程如图 6-56 所示。直角三角形 *ABC* 绕直角边 *AC* 旋转一周时，斜边 *AB* 形成的空间轨迹所包容的几何体就是一个圆锥体，*AB* 形成的表面为圆锥面，*AB* 为圆锥面的母线，*AC* 为圆锥轴线，如图 6-56a 所示。若截去圆锥体的顶端部分，就称为圆锥台，是我们常见的形式，如图 6-56b 所示。

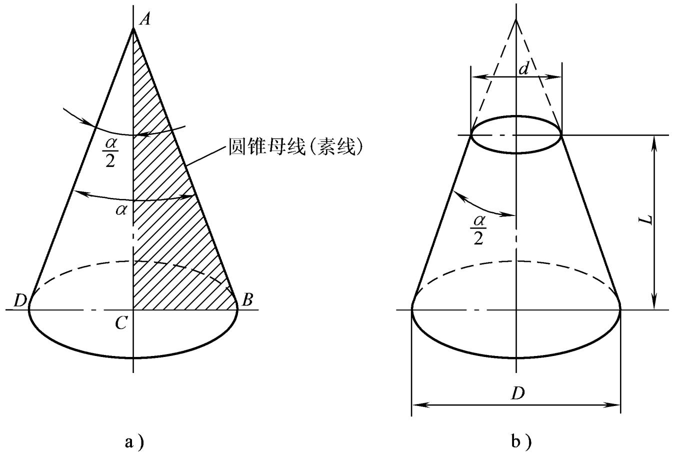


图 6-56 圆锥体与圆锥台

a）圆锥体 b）圆锥台

圆锥面分外圆锥面和内圆锥面，分别称作圆锥体和圆锥孔，如图 6-57 所示。

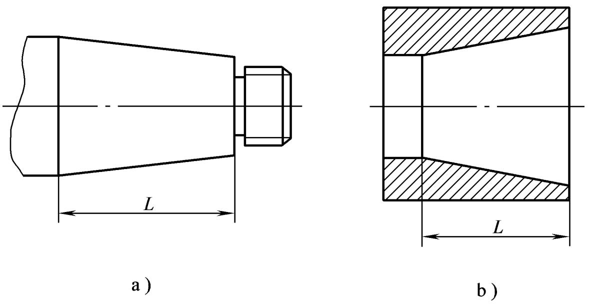


图 6-57　圆锥体与圆锥孔
a）圆锥体　b）圆锥孔

3. 圆锥各部的名称和计算

（1）圆锥各部的名称（图 6-58）

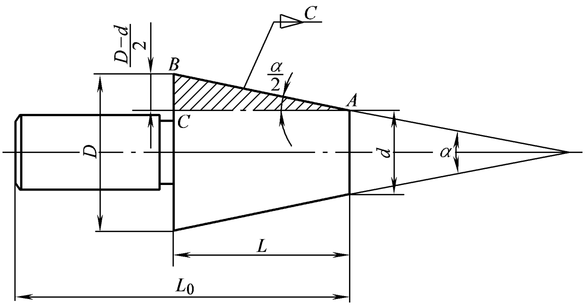


图 6-58　圆锥的基本参数

1）大端直径 D。圆锥中大端的直径，也叫最大圆锥直径。

2）小端直径 d。圆锥中小端的直径，也叫最小圆锥直径。

3）圆锥角 α。在通过圆锥轴线的截面内，两条母线之间的夹角。

4）圆锥半角 $\alpha/2$。圆锥母线与圆锥轴线之间的夹角即斜角，它是圆锥角的 1/2。

5）圆锥长度 L。圆锥大端与圆锥小端之间的垂直距离。

6）锥度 C。圆锥大端直径和圆锥直径的差与圆锥长度之比，即

$$C=\frac{D-d}{L}$$

7）斜度$\frac{C}{2}$。圆锥大小端之差的$\frac{1}{2}$与圆锥长度之比，即

$$\frac{C}{2}=\frac{D-d}{2L}$$

（2）有关计算　圆锥面有四个基本参数，即大端直径 D、小端直径 d、圆锥长度 L 和圆锥角 α。由于圆锥面是旋转体，在车削圆锥面时，最直观常用的角度是圆锥斜角 $\frac{\alpha}{2}$，在图样上，一般给出 D、d、L，故应求出斜角的实际度数，以便于操作。所以，根据图 6-58 中直角三角形 ABC 三边的三角关系，圆锥面计算的基本公式为

$$\tan\frac{\alpha}{2}=\frac{BC}{AC}$$

因为

$$BC=\frac{D-d}{2},\quad AC=L$$

所以

$$\tan\frac{\alpha}{2}=\frac{D-d}{2L} \tag{6-1}$$

计算出数值后，查三角函数表，即可得到相对应的圆锥半角的实际角度。

如果图样上给出圆锥角 α 或圆锥半角 $\frac{\alpha}{2}$，需要求出大端直径 D 或小端直径 d 时，则通过式（6-1）移项得到

$$D=d+2L\tan\frac{\alpha}{2} \tag{6-2}$$

$$d=D-2L\tan\frac{\alpha}{2} \tag{6-3}$$

当圆锥半角 $\frac{\alpha}{2}<6°$ 时，可用下列近似计算公式，不需查表，即可直接求出圆锥半角 $\frac{\alpha}{2}$ 的近似值

$$\frac{\alpha}{2}\approx 28.7°\times\frac{D-d}{L} \tag{6-4}$$

例 1：砂轮主轴上的圆锥体，图样上标注为：$D=40\text{mm}$，$d=28\text{mm}$，$L=60\text{mm}$，小滑板应转动多少度？

解：用两种解法比照

（1）根据式（6-1）

$$\tan\frac{\alpha}{2}=\frac{D-d}{2L}=\frac{40-28}{2\times 60}=0.1$$

查三角函数表得：$\frac{\alpha}{2}=5°42'38''$。

（2）根据式（6-4）

$$\frac{\alpha}{2}\approx 28.7°\times\frac{D-d}{L}=28.7\times\frac{40-28}{60}=5.74°\approx 5°42'40''$$

例 2：气阀体的圆锥孔，图样上标注为：圆锥半角 $\frac{\alpha}{2}=4°5'8''$，$D=35\text{mm}$，$L=50\text{mm}$，应选多大的钻头钻孔？

解：根据式（6-3）

$$d=D-2L\tan\frac{\alpha}{2}=35-2\times50\times\tan4°5'8''\approx28\text{mm}$$

即钻孔直径应小于 28mm。

4. 常用标准圆锥

为了使用方便，实现通用的需要，在经常拆卸的部位，如机床主轴上的定位面、工具或刃具上的安装面以及结构件的配合面上，规定了圆锥面的标准系列。圆锥各部尺寸，按照规定的号码制造，就可实现同一号码的互换。标准工具圆锥已在国际上通用。常用的工具圆锥有以下几种：

（1）莫氏圆锥　莫氏圆锥分成 0、1、2、3、4、5、6 七个号码，由小到大排列，锥度从 1∶19.002 到 1∶20.047 不等，即圆锥角 α 在 3°00′53″到 2°51′26″之间，它应用广泛，如车床主轴和尾座的圆锥孔以及钻头、铰刀、顶尖等常用工具、刃具的安装柄等，都是采用莫氏圆锥的不同号码。

（2）米制圆锥　米制圆锥共分 4、6、80、100、120、160、200 七个号码，号码表示大端直径的数值。它的优点是锥度 $C=1:20$ 固定不变，便于记忆。

除了莫氏圆锥和米制圆锥外，其他常见标准圆锥的锥度及应用如表 6-6 所示。

表 6-6　常见标准圆锥的锥度及应用

锥度 C	圆锥角 α	圆锥半角 $\alpha/2$	应 用 举 例
1∶4	14°15′	7°7′30″	车床主轴法兰及轴头
1∶5	11°25′16″	5°42′38″	易于拆卸的连接，砂轮主轴与砂轮法兰的结合
1∶7	8°10′16″	4°5′8″	管件的开关塞、阀等
1∶12	4°46′19″	2°23′9″	部分滚动轴承内环锥孔
1∶15	3°49′6″	1°54′23″	主轴与齿轮的配合部分
1∶16	3°34′47″	1°47′24″	圆锥管螺纹
1∶20	2°51′51″	1°25′56″	米制工具圆锥、锥形主轴颈
1∶30	1°54′35″	0°57′17″	装柄的铰刀和扩孔钻与柄的配合
1∶50	1°8′45″	0°34′23″	圆锥定位销及锥铰刀
7∶24	16°35′39″	8°17′50″	铣床主轴孔及刀杆的椎体
7∶64	6°15′38″	3°7′49″	刨齿机工作台的心轴孔

6.4.2　圆锥面的切削方法

圆锥面的切削方法一般有以下几种：

1. 搬动小滑板法

车削圆锥长度小于小滑板工作行程的圆锥面时，多采用调节小滑板转盘角

度，使小滑板斜向进给的切削方法。

（1）操作步骤　转动小滑板切削方法的操作步骤是：

1）检测小滑板的工作行程，应大于圆锥长度。

2）调节小滑板导轨间隙。边摇动小滑板手柄，边调整镶条的松紧度，使小滑板松紧适度，移动平稳、均匀。

3）以圆锥体的大端直径或圆锥孔的小端直径为标定尺寸，留出余量，粗车成圆柱体或圆柱孔。

4）计算圆锥半角 $\alpha/2$，即小滑板转盘转动的角度。

5）松开小滑板下面的转盘螺母，顺着工件圆锥内侧母线的方向，将转盘扳到计算出的圆锥半角 $\alpha/2$ 的刻度，与基本零线对齐后锁紧，如图 6-59 所示。

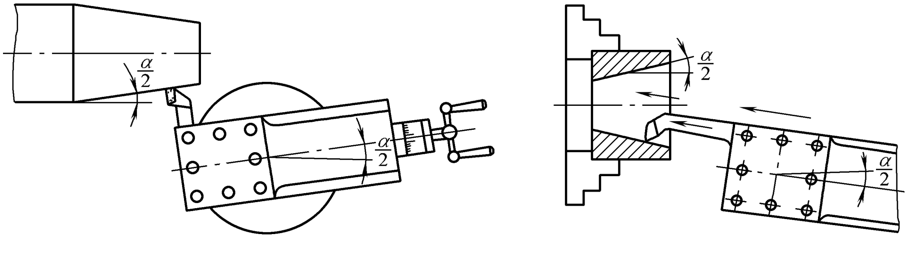


图 6-59　转动小滑板车圆锥面

6）粗车和半精车圆锥面，并留有足够的精车和检验圆锥半角 $\alpha/2$ 的加工余量。

7）装夹精车刀，使刀尖严格对准工件旋转中心。

8）精车圆锥面，随时检测圆锥半角，研合正确后，精车直径和长度尺寸及表面粗糙度，均达到技术要求。

（2）切削前校正锥度半角的方法　在切削过程中，计算出的圆锥半角 $\alpha/2$ 的角度值，一般都不是整数，再加上小滑板转盘的精度偏差。所以在扳转转盘时，不可能找到正确的角度位置，一般采用目测估值的方法，确定大体的角度，再在切削过程中，通过反复调试的操作，将圆锥半角调正。

在切削前，还可采用以下的方法校正锥度半角：

1）用百分表校正。按圆锥半角方向将小滑板转盘扳转目测估值的角度后，在床鞍的适当位置上固定百分表，使百分表的测头接触小滑板滑动座的侧面，移动床鞍，使床鞍的移动距离为圆锥长度 L，观察百分表指针的摆动量 C。当 $C = L\tan\dfrac{\alpha}{2}$时，则小滑板扳转的角度正确；如果不相等，则应微调小滑板的扳转角度，并反复调试，直到相等为止，如图 6-60 所示。

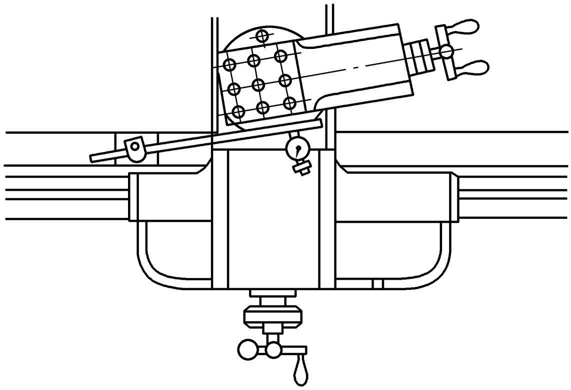


图 6-60　车削前校正锥度

2）用标准圆锥塞规校正。将尾座中心找正后，按圆锥半角方向，将标准圆规塞规装夹在两顶尖之间。然后按圆锥半角的估值角度扳转小滑板并锁紧。在小滑板上固定百分表，使百分表测头垂直对准并接触圆锥面小端的内侧母线，即对准工件的中心，摇动小滑板，观察百分表在由小端到大端移动时，指针的摆动量。当两端百分表指针的摆动量为零时，说明小滑板的转动角度与圆锥塞规的角度一致；否则，应微调小滑板的扳转角度，直至指针摆动为零为止，如图 6-61 所示。

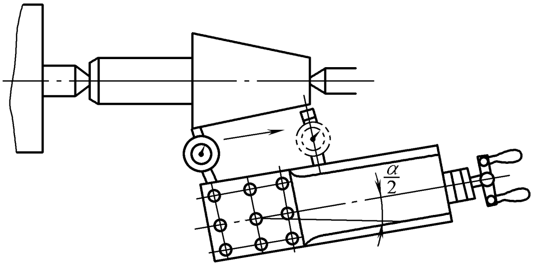


图 6-61　用百分表校正锥度

用百分表或标准塞规校正角度，可以在切削前精确地找正小滑板的扳转角度，节省了在操作时反复的调试时间。这些校正方法，在车削圆锥体和圆锥孔时都可应用。

（3）保证圆锥面加工精度的措施

1）保证圆锥面的直线度是车好圆锥面的基础。由于圆锥半角是圆锥母线与轴线相交形成的，所以车刀的运动轨迹必须与圆锥母线重合，才能保证圆锥面的直线度。其主要措施是：

①检验和调整小滑板移动的直线度，并使小滑板的移动轨迹与工件的旋转中心平行。

②在装夹精车刀时，刀尖必须与工件旋转中心等高。刀尖如果偏高或偏低，车出的圆锥面是双曲线，而不是直线，如图 6-62 所示。

2）对圆锥半角进行反复调试。对一般精度的圆锥面，在加工过程中，应采

用角度样板或万能角度尺，作透光检测，并反复调整转盘角度。

对有配合要求的圆锥面，则必须用圆锥量规作研合的显点检验，边检验边反复微量调试角度，直到达到要求为止。在这个过程中，应留有足够的后序加工余量。

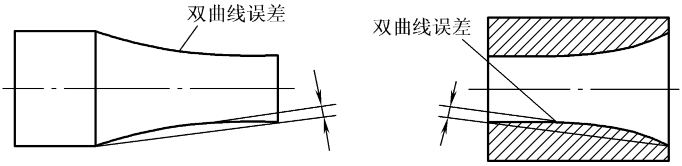


图 6-62　圆锥表面的双曲线误差

3）在圆锥半角符合要求而各部尺寸还未达到要求的前提下，再控制圆锥面的尺寸精度，主要是控制大端直径或小端直径。对没有配合要求的圆锥面，可在测量大端直径或小端直径后，根据切削余量的大小直接进刀，其切削余量即是进刀的背吃刀量。

当圆锥面两端直径有严格限制的配合要求时，可用界限套规或塞规控制直径尺寸。常用的方法有：

①计算法。将界限套规或界限塞规分别置于被测量的圆锥体或圆锥孔内，测量工件端面与套规或塞规界限面之间的距离 a，见图 6-63，再用计算法计算出背吃刀量 a_p

$$a_p = a\tan\frac{\alpha}{2}$$

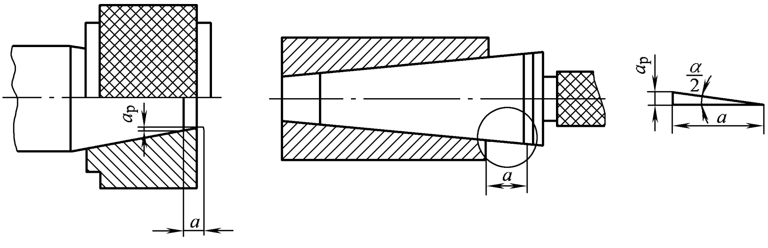


图 6-63　车圆锥面控制尺寸的方法

②移动床鞍法。即测量出工件端面与界限面之间的距离 a 后，使车刀接触工件小端直径，然后摇动小滑板，使车刀斜向离开工件端一个垂直距离 a。这时在中滑板和小滑板固定不动的状态下，移动床鞍，使车刀与小端平面接触后，再使小滑板斜向进给。这时虽然没有移动中滑板，但车刀已经实现了横向进刀，其背吃刀量恰好是工件的直径切削余量，如图 6-64 所示。

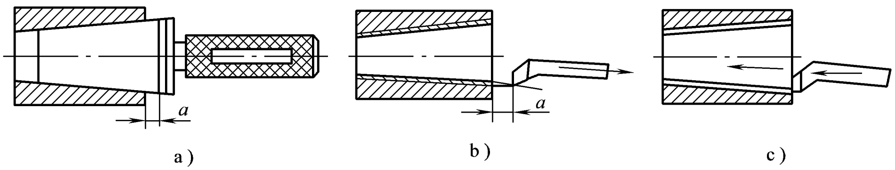


图 6-64　移动床鞍法控制圆锥尺寸

4）在半精车时，背吃刀量不宜过大，应以调试圆锥角为主，一般留精车余量为 0.1mm 以上，以防工件报废。

5）在精车有配合要求的圆锥面时，应使用带修光刃的高速钢车刀，进行低速切削。并加注合适的切削液。如切削塑性材料时，使用切削油等切削液，起润滑作用；而在切削灰铸铁时，可使用煤油等，使切削层细化，提高表面质量。

6）在车刀斜向进给时，应双手握住小滑板手柄，两手交替摇动，如图 6-65 所示。这样可使车刀手动进给的速度均匀、平稳。

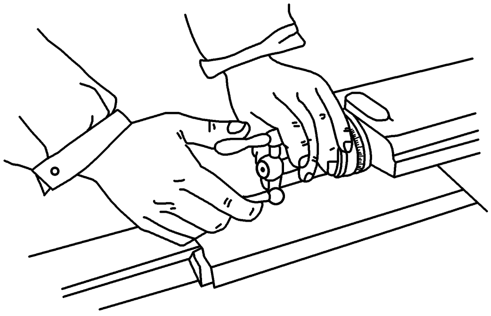


图 6-65　双手交替摇动小滑板车圆锥

（4）扳动小滑板法的特点

1）角度调整范围大，可车削圆锥角较大的圆锥面。

2）应用范围广，可车削圆锥体和圆锥孔。

3）操作简便，加工精度较高，是广泛采用的加工方法。

4）受小滑板工作行程限制，只能加工圆锥长度小于小滑板工作行程的圆锥面。

5）只能手动进给，劳动强度大。

2. 偏移尾座法

当切削圆锥长度大于小滑板工作长度而圆锥度较小的圆锥体时，可采用偏移尾座法。车削时，用两顶尖装夹工件，将尾座横向向内偏移一段距离 S，使工件回转中心与纵向进给方向相交成圆锥半角 $\alpha/2$，从而车刀在沿纵向进给时，在工件表面形成了圆锥面，如图 6-66 所示。

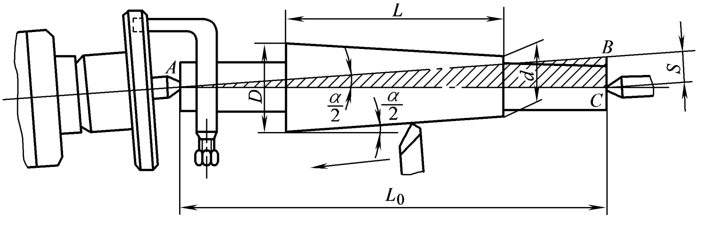


图 6-66　偏移尾座车圆锥的方法

（1）尾座偏移量的计算　用偏移尾座法车削局部为圆锥体的工件时，由于尾座的偏移，导致工件的整体偏移，所以在计算尾座的偏移量 S 时，工件全长 L_0 是重要参数，圆锥长度 L 只起确定圆锥半角 $\alpha/2$ 的作用。

现以图 6-66 有关部分的放大图 6-67 为例，对尾座偏移量 S 进行计算。

在等腰三角形 ABC 中，以 C 作 AB 的垂线，相交于 D 点，则 CD 的长度即为尾座的偏移量 S。

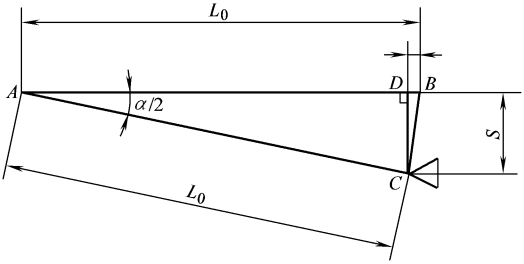


图 6-67　偏移量计算用图

在直角三角形 ACD 中：$\angle A = \frac{\alpha}{2}$，$AC = L_0$

则：
$$S = L_0 \sin\frac{\alpha}{2} \tag{6-5}$$

当 $\frac{\alpha}{2}$ 较小时，$\sin\frac{\alpha}{2} \approx \tan\frac{\alpha}{2}$，为简化计算，省去查三角函数的时间，将式（6-5）用下式替代

$$S \approx L_0 \tan\frac{\alpha}{2}$$

由于
$$\tan\frac{\alpha}{2} = \frac{D-d}{2L}$$

所以
$$S \approx L_0\frac{D-d}{2L} \tag{6-6}$$

式中　S——尾座偏移量（mm）；

D——圆锥体大端直径（mm）；

d——圆锥体小端直径（mm）；

L——圆锥长度（mm）；

L_0——工件全长（mm）。

当工件全部为圆锥体时，则

$$S = \frac{D-d}{2} \tag{6-7}$$

例 3：车削有局部圆锥体的固定轴，工件全长 1000mm，圆锥体大端直径为 ϕ60mm，小端直径为 ϕ58mm，圆锥长度为 400mm，求尾座的偏移量。

解：根据式（6-6）

$$S = \frac{D-d}{2L}L_0 = \frac{60-58}{2\times400}\times1000\text{mm} = 2.5\text{mm}$$

（2）偏移尾座的方法　根据计算的尾座偏移量 S，移动尾座上部，通常将尾

座上部向内侧偏移，使圆锥小端在尾座一方，有利于操作和测量。偏移尾座的常用方法是：

1）用尾座的刻度盘控制偏移量。先松开尾座锁紧螺母，然后用内六角扳手转动两侧的调节螺钉 1、2，使螺钉 1 后退，螺钉 2 推进，按违章刻度使尾座上层内移一个距离 S，如图 6-68 所示。然后旋紧调节螺钉和尾座的锁紧螺母。这种方法操作简便，圆锥角精度要求不高时均可采用。

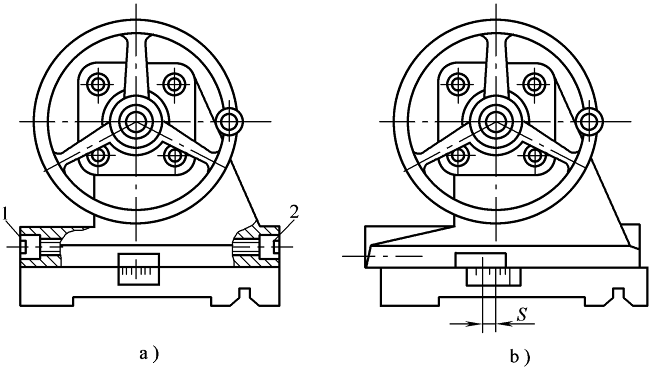


图 6-68　尾座偏移方向与偏移量

a）将尾座上方移向操作者方向　b）测偏移量

1、2—调节螺钉

2）用中滑板刻度或百分表控制偏移量。用两顶尖夹持工件后，在刀架上夹一铜块，使铜块前端与工件头部外圆轻轻接触，记下中滑板的刻度数后后退，重新向前摇动到尾座偏移量 S 的刻度数时停止。然后偏移尾座上部，直到工件外表面与铜块轻轻接触为止，如图 6-69a 所示。

当圆锥角精度要求较高时，可用百分表的读数差，控制尾座的偏移量，如图 6-69b 所示。百分表测头在通过工件轴线的水平面内与工件头部外圆垂直接触后，偏移尾座，使百分表指针转到尾座偏移量 S 的位置后，将尾座固定。

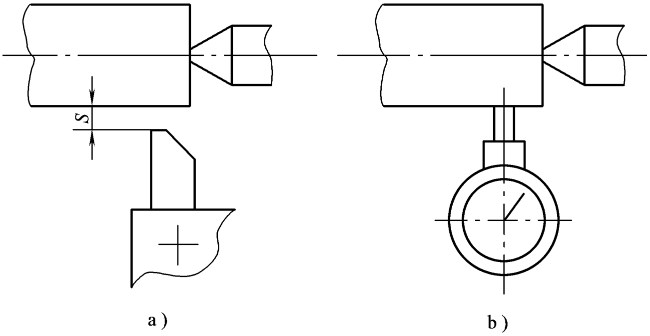


图 6-69　控制尾座偏移量的方法

在上述操作过程中，由于工件的倾斜，使得工件全长的垂直长度缩短，在图 6-67 中，垂直长度由 *AB* 缩短到 *AD*，缩短量为 *DB*。这样，它会导致工件的松动，甚至使工件脱离顶尖，酿成事故。因此，在偏移尾座的同时，应密切关注工件与顶尖的接触状况，及时将顶尖向前跟进。

3）用锥度量棒控制偏移量。将锥度量棒（或样件）装夹在两顶尖之间，百分表固定在刀架上，使百分表测头垂直接触量棒小端的圆锥外侧母线，并与主轴旋转中心等高，再移动尾座。在偏移量为 *S* 时，再纵向移动床鞍，观察百分表在圆锥面两端的读数是否一致。如果百分表指针摆动，再按偏差方向微调尾座位置，直至指针不摆动为止，如图 6-70 所示。

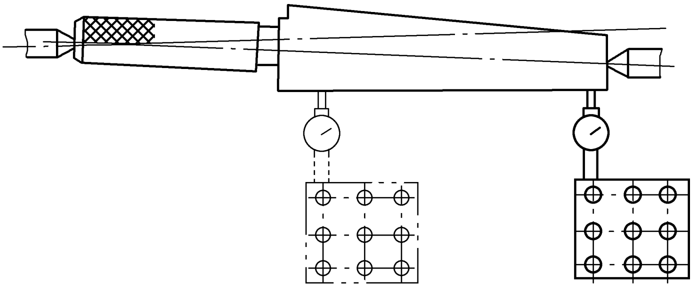


图 6-70　用锥度量棒控制偏移量

（3）工艺特点

1）适宜于加工圆锥较长、圆锥度较小的工件。

2）可以纵向机动进给，提高工件的表面质量。

3）受到尾座偏移量的限制，不能加工圆锥度大的工件。

4）只能加工圆锥棒，不能加工圆锥孔。

5）工件两端中心孔的距离很难保证一致，影响圆锥精度。

6）用普通的两顶尖装夹工件的方式，由于两中心孔是歪斜的，两顶尖也不在一条直线上。因此，它们的接触不相吻合，从而导致中心孔的磨损或破坏，影响圆锥体的加工质量。可采取特殊的装夹形式，以弥补缺陷，如图 6-71 所示。

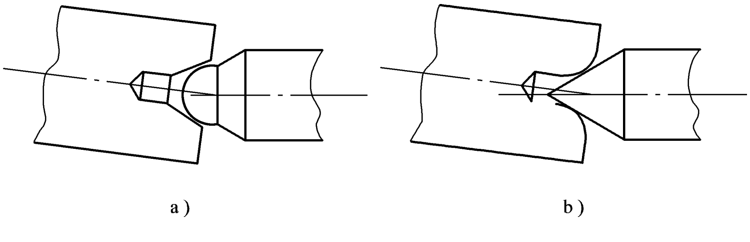


图 6-71　工件的特殊装夹形式

①两端采用球头顶尖，中心孔形式保持60°不变，如图6-71a所示。

②两端采用R形中心孔形式，顶尖形式保持60°不变，如图6-71b所示。

为简化操作，主轴端的中心孔，可以做成小直径的圆柱孔，在装夹时依靠尾座的推力作用，将圆柱孔端的锐角挤压成与顶尖圆锥体吻合的接触面。

在采用偏移尾座的方法加工带有局部圆锥体的轴类工件时，应在粗车各部并留有后序加工余量后，先用正常的加工方法将其余各部精车完成后，再采用偏移尾座的方法半精车和精车圆锥体表面，以防止中心孔损伤引起的精度误差。

3. 靠模法

对圆锥角度较小、圆锥长度较长、精度要求较高的圆锥面，还可采用靠模法加工。

靠模法车削圆锥面的基本原理如图6-72所示。在车床床身外侧固定一块带斜槽的靠模板1，斜槽角可根据工件的圆锥半角调整。滑块2放置在靠模板的斜槽中，并通过中滑板与刀架3作定距离的刚性连接。将斜槽角度调整到圆锥半角后，使床鞍在作纵向机动进给的同时，滑块2沿着斜槽作斜向移动，并带动车刀产生一个相应的横向附加进给运动，作平行于靠模板斜槽的斜向移动，从而在工件表面形成了与圆锥半角相同的圆锥面。

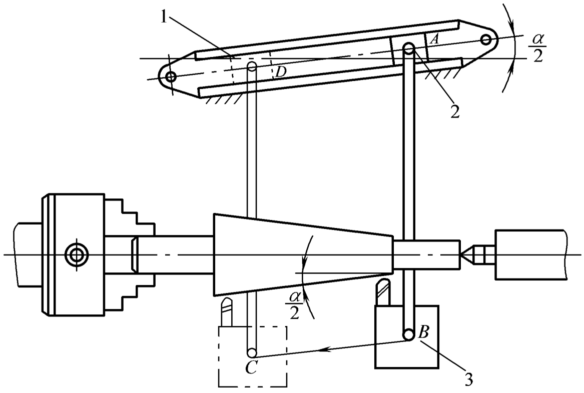


图6-72　靠模法车削圆锥的基本原理

1—靠模板　2—滑块　3—刀架

靠模法车削圆锥面的方法，加工精度高，操作方便，并可采用机动进给车削圆锥体或圆锥孔，但角度的调节较小，一般在12°以下，只在带有靠模板附件的车床上使用。结构并不复杂，很容易制作。当进行大批量生产时，也可在一般车床上自制靠模板装置。

4. 宽刃刀车削法

当车削圆锥较短、精度要求不高的圆锥面时，可采用宽刃车刀直接车出，如图 6-73 所示。这种方法实质上属于成形法，宽刃车刀的形状与工件加工表面相同。

宽刃车刀的刃磨和安装也应遵循车圆锥面的基本原则：切削刃在水平面内平直，刀尖应严格对准工件中心，车刀的主偏角应等于圆锥半角 $\alpha/2$，并用样板或万能角度尺检测。

在采用宽刃刀切削时，会产生较大的切削力，容易引起切削振动，所以车床和车刀必须具有良好的刚性。

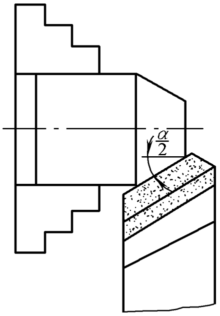


图 6-73　宽刃刀车削圆锥

6.4.3　圆锥面的测量技术

测量圆锥面的加工精度，主要是检测圆锥面的圆锥半角 $\alpha/2$ 和直径的加工精度。这里主要介绍圆锥半角的加工精度。

在切削圆锥面过程中或完工后，都应对圆锥半角进行反复检测。检测圆锥半角的常用方法有以下几种：

1. 用角度样板检测

通过观察样板与被测圆锥面之间的透光状况，检测圆锥半角的加工精度，如图 6-74 所示。这种方法多用于在大批量生产时，检测精度不高的工件，如锥齿轮的顶锥角等。

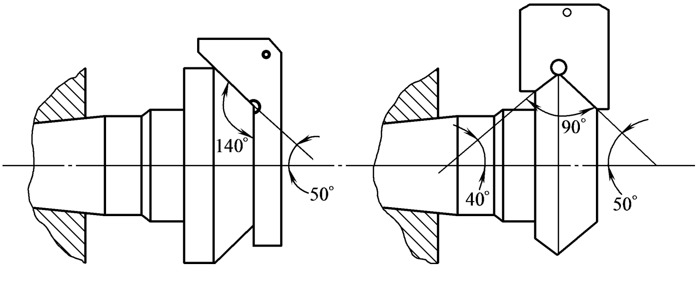


图 6-74　用样板测量锥齿轮坯角度

2. 用万能角度尺检测

在单件或小批量生产时，可用万能角度尺检测精度不高的工件。通过基尺、直尺和角尺等的不同组合，可以测量 0° ~ 320°范围内的任何角度，如图 6-75 所示。

3. 用圆锥量规检测

在检测标准圆锥或配合精度要求较高工件时，可用标准圆锥套规或标准圆锥塞规，分别测量圆锥体或圆锥孔，如图 6-76 所示。

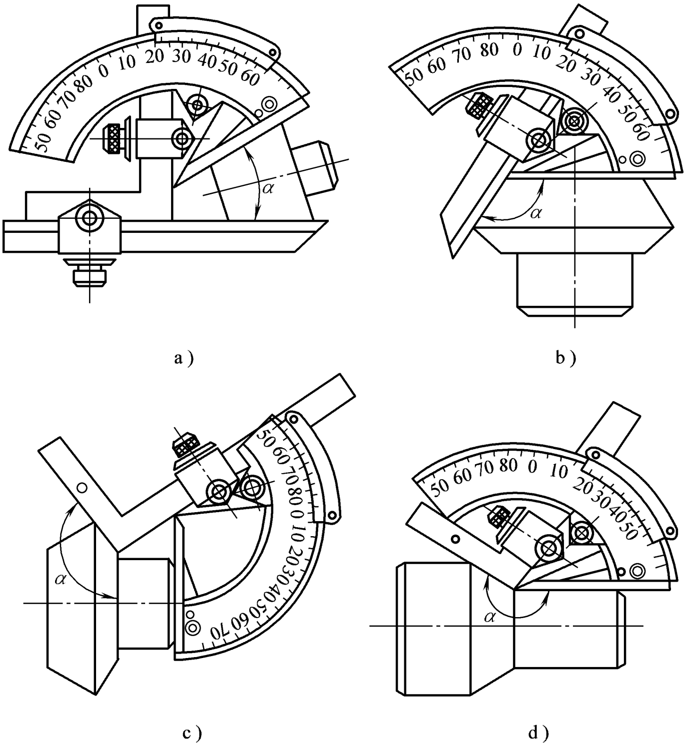


图 6-75　用万能角度尺测量工件的方法

涂色的检测方法如图 6-77 所示。将圆锥体表面擦净后，用红丹粉等显示剂在工件表面顺着圆锥母线，薄而均匀地涂上三条色线，如图 6-77a 所示。右手握住标准圆锥套规，轻轻套在圆锥体上，稍加轴向推力时，将套规旋转半周后取出，观察显示剂的研合状况。如果显示剂在全长上研合均匀，说明圆锥体接触良好，锥度正确，如图 6-77b 所示。如果显示剂在大端或小端局部研合，则说明圆锥角过大或过小，应相应地调整圆锥半角；如果显示剂只在两端或中部区域研合，则说明圆锥母线不直，即出现双曲线误差，应从小滑板移动的直线度、平行度或刀尖安装的高度上找出原因。

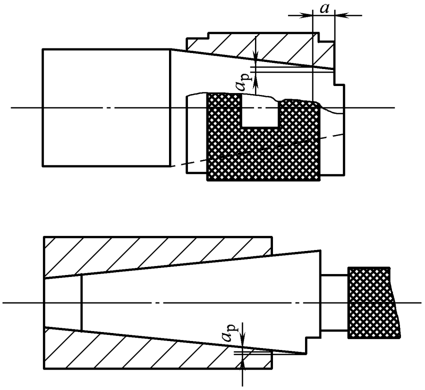


图 6-76　用圆锥量规检测

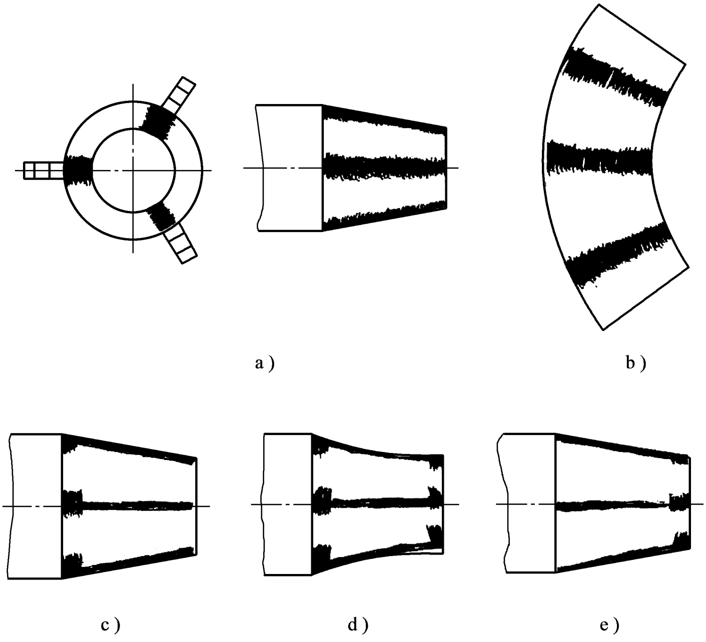


图 6-77　涂色的检测方法

4. 用正弦规测量

正弦规是利用直角三角形的函数关系测量角度的精密量具，它由一块精确的长方体和两个直径相同的精密圆柱组成，如图 6-78 所示。

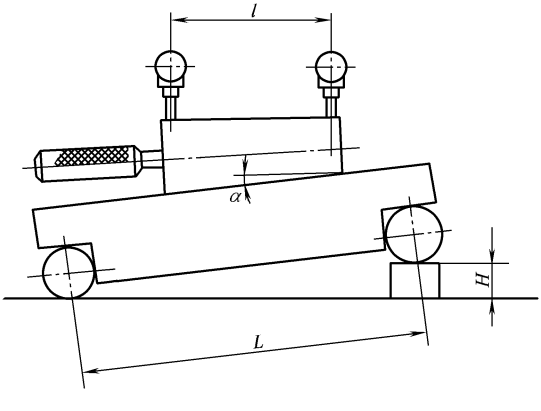


图 6-78　正弦规测量法

用正弦规测量时，应在精度较高的平板上进行。将两圆柱放置在平板上，正弦规放置在两圆柱上面，在一端的圆柱下塞入量块，量块的高度 H 用下式计算

$$H = L\sin\alpha \tag{6-8}$$

式中 H——量块的高度（mm）；

L——正弦规中心距（一般有 100、200 两种）（mm）；

α——被测工件的圆锥角（°）。

再将工件放在正弦规上，用百分表检测工件两端的高度差，如在两端百分表读数相同，说明圆锥角正确。

若两端百分表读数差为 Δd，工件的测量长度为 l 时，工件圆锥角 α 的角度误差 $\sin\Delta$ 为

$$\sin\Delta = \frac{\Delta d}{l} \tag{6-9}$$

例 4：用正弦规测量莫氏 4 号锥柄的圆锥角为 2°58′30″，已知正弦规中心 $L=200\text{mm}$，应垫多高的量块？如果测量长度 $l=120\text{mm}$ 上的高度误差为 0.072mm，工件的圆锥度 α 的角度误差是多少？

解：根据式（6-8）

$$H = L\sin\alpha = 200\times\sin2°58'30'' = 200\times0.0519\text{mm} = 10.38\text{mm}$$

根据式（6-9）

$$\sin\Delta = \frac{\Delta d}{l} = \frac{0.072}{120} = 0.0006$$

查三角函数表得：$\Delta = 2'$。

5. 用钢球测量

在测定出圆锥孔的大端直径后，可以用钢球检测圆锥半角 α，即将适当尺寸的钢球放入圆锥孔内，并露出锥孔端面，如图 6-79 所示。

设测定的大端直径为 D，钢球半径为 r，钢球露出的高度为 H。作圆锥面的延长线，相交于 C，$\angle DCA = \frac{\alpha}{2}$，从 O 点作 DC 的垂线，相交于 B。

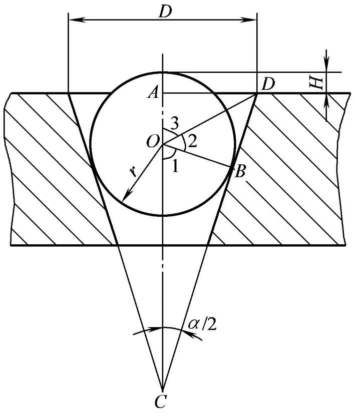


图 6-79　用一个钢球测量锥孔斜角

D—锥孔大端直径　r—钢球半径

H—钢球露出部分直径　α—锥孔斜角

（1）在直角三角形 DOA 中，$\tan\angle3 = \frac{AD}{AO}$

由于 $$AD = \frac{D}{2} \quad AO = r - H$$

所以 $$\tan\angle3 = \frac{AD}{AO} = \frac{\frac{D}{2}}{r-H} = \frac{D}{2(r-H)}$$

$$OD = \frac{AO}{\cos\angle3}$$

(2) 在直角三角形 DOB 中

$$\cos\angle 2 = \frac{OB}{OD}$$

由于
$$OB = r \quad OD = \frac{AO}{\cos\angle 3} \quad AO = r - H$$

所以
$$\cos\angle 2 = \frac{r}{\dfrac{AO}{\cos\angle 3}} = \frac{r\cos\angle 3}{r - H} \tag{6-10}$$

(3) 在直角三角形 COB 中

$$\frac{\alpha}{2} = 90° - \angle 1$$

$$\angle 1 = 180° - \angle 2 - \angle 3$$

所以
$$\frac{\alpha}{2} = 90° - (180° - \angle 2 - \angle 3) \tag{6-11}$$

例 5：用图 6-79 的方法测量圆锥孔半角，已知锥孔大端直径 $D = 25\text{mm}$，选用 $r = 11\text{mm}$ 的钢球，测得 $H = 6\text{mm}$，求$\dfrac{\alpha}{2}$。

解：(1) 根据式 (6-9) 求∠3：

$$\tan\angle 3 = \frac{D}{2(r - H)} = \frac{25}{2 \times (11 - 6)} = 2.5$$

查表得　$\angle 3 = 68°12'$。

(2) 根据式 (6-10) 求∠2

$$\cos\angle 2 = \frac{r\cos\angle 3}{r - H} = \frac{11 \times 0.3714}{5} = 0.81708$$

查表得　$\angle 2 = 35°11'$。

(3) 根据式 (6-11) 求$\dfrac{\alpha}{2}$

$$\frac{\alpha}{2} = 90° - (180° - \angle 2 - \angle 3) = 90° - (180° - 35°11' - 68°12') = 13°23'$$

6.4.4　车圆锥面常见切削缺陷分析

车圆锥面常见切削缺陷产生的原因和防止措施，见表 6-7。

表 6-7　车圆锥面常见切削缺陷产生的原因和防止措施

易出现的问题	产生原因	解决措施
锥度(角度)不正确	1. 用转动小溜板法车削时 (1) 小溜板转动角度计算错误 (2) 小溜板移动时松紧不匀	(1) 仔细计算小溜板应转的角度和方向,并反复试车校正 (2) 调整塞铁使小溜板移动均匀

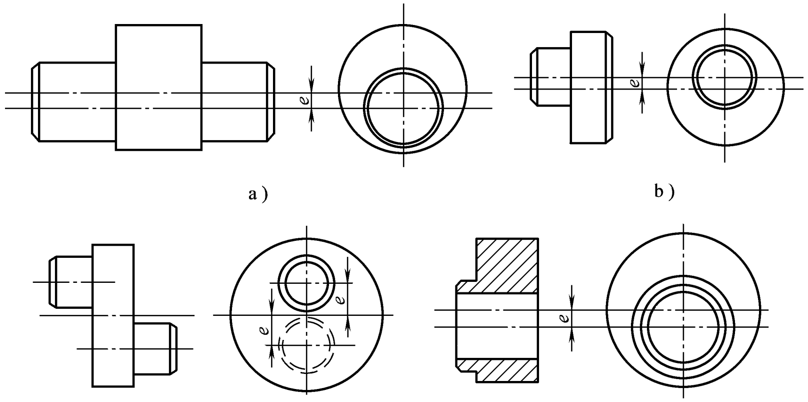
（续）

易出现的问题	产 生 原 因	解 决 措 施
锥度(角度)不正确	2. 偏移尾座法车削时 （1）尾座偏移位置不准确 （2）工件长度不一致	（1）重新计算和调整尾座偏移量 （2）如工件数量较多,各件的长度必须一致
	3. 用靠模法车削时 （1）靠模角度调整不正确 （2）滑块与靠模板配合不良	（1）重新调整靠板角度 （2）调整滑块和靠板之间的间隙
	4. 用宽刃刀法车削时 （1）装刀安装不正确 （2）切削刃不直	（1）调整切削刃的角度和对准中心 （2）修磨切削刃的直线度
	5. 铰内圆锥法时 （1）铰刀锥度不正确 （2）铰刀的轴线与工件旋转轴线不同轴	（1）修磨铰刀 （2）用百分表和试棒调整尾座套筒轴线
大、小端直径不正确	6. 双曲线误差 （1）车刀刀尖未对准工件轴线 （2）没有经常测量大、小端直径	（1）调整刀尖高度,使其与工件轴心等高 （2）注意经常测量大、小端直径,并按测量值调整背吃刀量
表面粗糙度值大	（1）与车外圆时的原因相似 （2）手动进给速度不均匀 （3）偏转小滑板加工时,镶条间隙过大 （4）偏移尾座加工时,中心孔接触不良	（1）参考表 6-2 （2）保持进给稳定 （3）调整镶条的松紧度 （4）用圆头顶尖

6.5　偏心工件的车削

在机械传动中，将回转运动变为往复直线运动时，一般都是采用偏心轴或曲轴完成的，如车床主轴箱中的偏心轴带动的润滑泵和汽车、拖拉机的曲轴带动活塞作功等。

当某一外圆或内孔表面与工件的旋转轴心平行但不重合的零件，如偏心轴或偏心套，叫作偏心工件。在偏心工件中，偏心部分的轴线与基准部分的轴线之间的距离，称为偏心距 e，如图 6-80 所示。



a)　b)　c)　d)

图 6-80　偏心工件

6.5.1　偏心工件的装夹方式

偏心工件一般都在车床上加工。其车削方法主要是工件的装夹方法，即把需要加工的偏心部分的轴线调整到与车床主轴旋转轴线相重合的位置。工件的偏心距精度主要是通过装夹精度保证的。常用的装夹方法主要有：用四爪单动卡盘、三爪自定心卡盘、偏心卡盘、花盘、在两顶尖间装夹以及用专用偏心夹具装夹等。而偏心距的加工精度，则往往是通过划线和找正的方法保证的。

1. 在四爪单动卡盘上加工

当小批量加工长度较短、偏心距较小的偏心工件时，可装夹在四爪单动卡盘上加工。其加工步骤是：

1）锻造或圆钢下料，必要时应进行正火或调质处理。

2）车两端平面。

3）按工件最大直径车成圆柱体光轴。

4）划线。划线的基本方法是：

①将划线表面涂有显示剂的工件放置在 V 形铁或划线方箱的 V 形槽中，用高度游标划线尺测量出光轴上母线的高度后，把游标下移到光轴半径尺寸处，用手压住工件，在光轴两端面和外圆两侧划出封闭的线痕。然后将工件旋转 180°。

②将工件旋转 180°找平后，检测划线尺划线爪与线痕重合后，划线爪的位置即为工件的中心位置。

③将工件转动 90°，用 90°角尺对齐已划好的端面基准线后，再用已调好的划线尺在工件两端面和外圆两侧划出封闭线痕，端面上两垂线的交点 O，即为工件的轴心。

④将划线尺游标上移或下移所需要的偏心距，并在工件两端面和两侧划出偏

心封闭线，端面十字交叉点 a 即为偏心部分的轴心，Oa 即为偏心距，如图 6-81 所示。

⑤在 a 点处和偏心线周边打样冲眼，并以偏心的轴心 a 为圆心划圆心线，作为装夹找正的辅助参考线。

5）装夹与找正。装夹与找正的基本方法如图 6-82 所示。

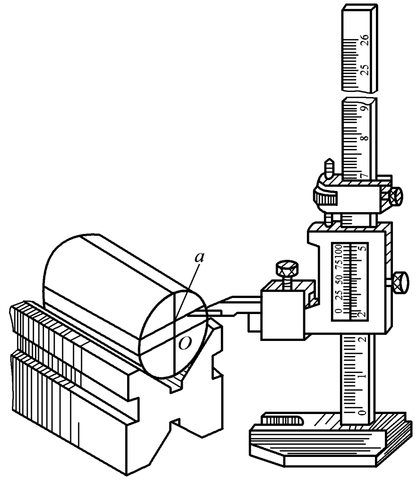


图 6-81　在 V 形铁上画偏心线的方法

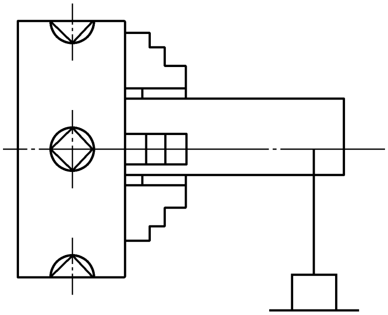


图 6-82　装夹与找正的基本方法

①将工件装夹在四爪单动卡盘上，为增加工件在找正时水平方向的自由度和防止外圆的损伤，在各卡盘卡爪处垫一窄条铜板。

②在床面上放一平板，用划线盘找正偏心的参考圆心线。

③用十字线校正法，将划线盘自左至右分别沿两侧的偏心线平行移动，并反转半周，反复校正工件位置和划针高度，使偏心线在左右和上下位置上均与划针高度一致为止（可参见 4. 6. 1 节中关于用划线盘找正的详细介绍）。

④按相对方向依次紧固各卡盘卡爪，并保证工件已找正的位置不变。

如果偏心距精度要求较高，可将工件的偏心距看作圆跳动量，直接用百分表的摆动差校正。

6）切削偏心表面与车削一般的圆柱面没有多大区别，仅仅由于在开始切削时两侧的切削余量相差较大，从而导致切削力不均匀带来的一些影响。

2. 在三爪自定心卡盘上加工

在车削长度较短、偏心距较小的偏心工件时，可以通过在三爪自定心卡盘一个卡爪垫上一定厚度的垫片，使工件在正确的偏心位置上夹紧，突显自然定心简单快捷的偏心加工。

在操作过程中，主要是确定垫片的厚度。垫片厚度的运算过程是：

用三爪自定心卡盘装夹偏心工件的示意如图 6-83 所示。其中，e 为偏心距，x 为垫片厚度，O 点位卡盘所夹部分直径 D 的圆心，A 点位卡盘卡爪的夹紧中心，其半径为 R。

过圆心 A 连接卡盘卡爪顶点 B，过圆心 O 作 AB 的垂线，相交于 C 点，连 OB。

在直角三角形 OAC 中，$\angle OAC = 60°$，$OA = e$

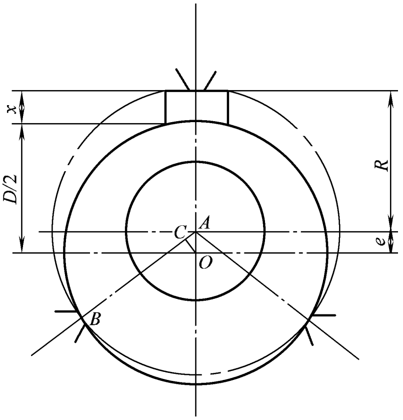


图 6-83　三爪自定心卡盘装夹偏心工件的示意图

所以
$$OC = e\sin 60° = \frac{\sqrt{3}}{2}e \tag{6-12}$$

$$AC = \frac{e}{2} \tag{6-13}$$

在直角三角形 BOC 中：$OB = \dfrac{D}{2}$

所以
$$BC = \sqrt{OB^2 - OC^2} = \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{3}{2}e\right)^2} \tag{6-14}$$

为简化计算，将根号内配成完全平方式

$$BC = \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{3}{2}e\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \frac{3}{4}e^2 + \left(\frac{3e}{4D}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{D}{2} - \frac{3e}{4D}\right)^2}$$
$$= \frac{D}{2} - \frac{3e}{4D}$$

因为
$$D >> e$$

所以
$$\frac{3e}{4D} \to 0$$

因此$\dfrac{3e}{4D}$对计算值影响很小，即

$$BC = \frac{D}{2} \tag{6-15}$$

因为
$$R = AB = AC + BC \tag{6-16}$$

将式（6-13）、式（6-15）代入式（6-16）

$$R = AB = AC + BC = \frac{e}{2} + \frac{D}{2} \tag{6-17}$$

由于
$$\chi = R + e - \frac{D}{2} \tag{6-18}$$

将式（6-17）代入式（6-18）：

$$\chi = R + e - \frac{D}{2} = \frac{e}{2} + \frac{D}{2} - \frac{3e}{2D} + e - \frac{D}{2} = \frac{3}{2}e - \frac{3e}{4D}$$
$$= \frac{3}{2e}\left(1 - \frac{e}{2D}\right) \tag{6-19}$$

例 6：如车削偏心距 $e=2\text{mm}$，装夹直径 $D=\phi 40\text{mm}$，计算垫片厚度 χ。

解：根据式（6-19）：$\chi=\frac{3}{2e}\left(1-\frac{e}{2D}\right)=\frac{3}{2}\times 2\times\left(1-\frac{2}{2\times 40}\right)\text{mm}=2.925\text{mm}$

在装夹偏心工件时，由于其他两个卡爪与被夹持的表面形成非相切状态，又受到卡爪面宽度的影响（最好制成圆弧面），用上式计算的垫片厚度存在误差，所以在实践中，还应根据实测的偏心距误差，对垫片厚度作微量调整。

为保证偏心距的一致性，应提高被夹表面的尺寸精度。

3. 在偏心卡盘或串接卡盘上加工

在大批量加工精度较高的偏心工件时，可以用偏心卡盘或串接卡盘装夹。

（1）在偏心卡盘上装夹　偏心卡盘分两层，如图 6-84 所示。底盘 5 用螺钉固定在车床主轴的连接盘上，偏心体 2 与底盘燕尾槽配合，偏心体上装有三爪自定心卡盘 4，用丝杆 1 调整卡盘的偏心距 e，其大小可在两测量头 6、7 之间测得。当偏心距为零时，两测头恰好相碰。转动丝杆 1 时，它们逐渐远离，其远离的距离即为偏心距。

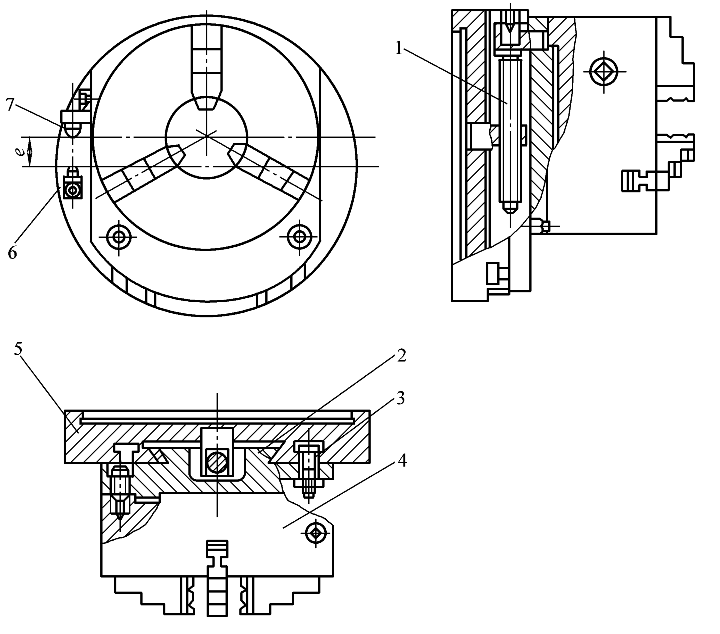


图 6-84　偏心卡盘

1—丝杆　2—偏心体　3—T 形螺钉　4—三爪自定心卡盘

5—底盘　6、7—测量头

当偏心距调好后，用对称的 T 形螺钉 3 紧固后，将偏心工件装夹在三爪自定心卡盘上，进行加工。

偏心卡盘的偏心距可用量块等测得，因此可获得很高的精度。同时操作方便，通用性强，生产效率高，可装夹短轴、盘、套等偏心工件。

（2）在串接卡盘上装夹　把三爪自定心卡盘装夹在四爪单动卡盘上找正后，使三爪自定心卡盘的轴线与主轴轴线偏移一个偏心距 e，工件装夹在三爪自定心卡盘上，即可加工，如图 6-85 所示。

这种装夹方法应采用十字线找正法的程序将首件找正，并检测合格后再大批量生产。而串接的卡盘，其刚性较差，故只适用于偏心不大、长度较短的偏心工件。

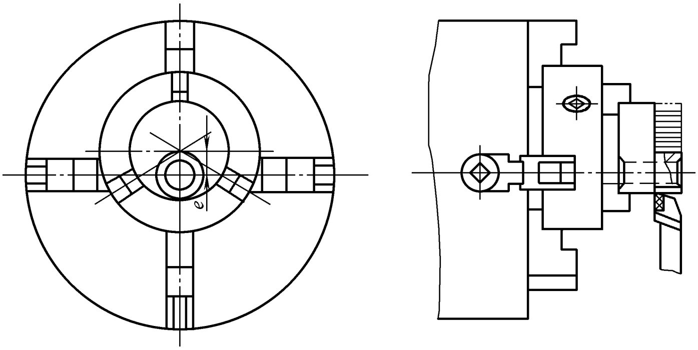


图 6-85　在串接卡盘上车削偏心工件

4. 用偏心夹具装夹

当大批量加工精度较高的偏心工件时，可制造专用偏心夹具装夹和加工，如图 6-86 所示。

图 6-86a 为将工件放置在带开口的偏心套中，用三爪自定心卡盘夹紧；图 6-86b 为将工件套在带平键的偏心轴上，通过螺母作轴向紧固。这种形式可一次加工多个工件，必要时，可用活顶尖支承。

对于大型的偏心工件，可用花盘、弯板和 V 形块装夹。

5. 装夹在两顶尖间加工

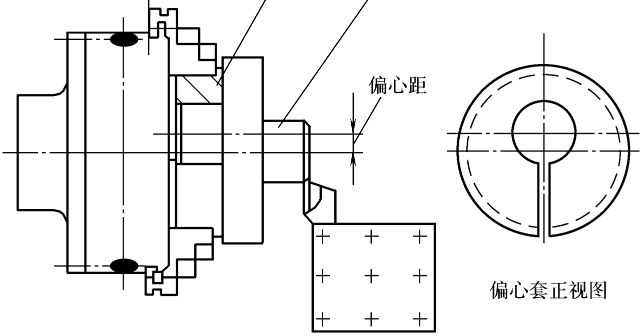
用两顶尖装夹偏心工件，是车削偏心轴、曲轴的常用装夹形式。一般的偏心轴类工件，只要两端可钻中心孔，又有鸡心夹头的装夹位置，都可采用这种形式，如图 6-87 所示。这种装夹方式的特点是：只要保证各对应的中心孔的加工精度，不必找正，即可保证偏心距的加工精度。其加工操作的主要步骤是：

1）将棒料或锻件按最大尺寸直径或最大轮廓尺寸的直径车成光轴，两端面车平。

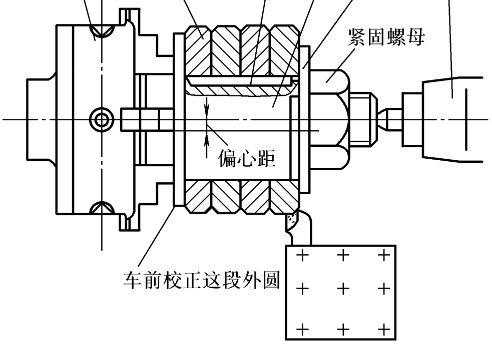
2）划线。按划线的程序找出两端的基准面轴线中心和各偏心表面的轴线中心，打出样冲眼。

3）用钻床或镗床钻两端相互对应的中心孔。

4）用两顶尖和鸡心夹装在主轴或尾座之间，分步、分段对各部直径和侧面进行切削。



a）



b）

图 6-86　车削偏心工件用专用夹具

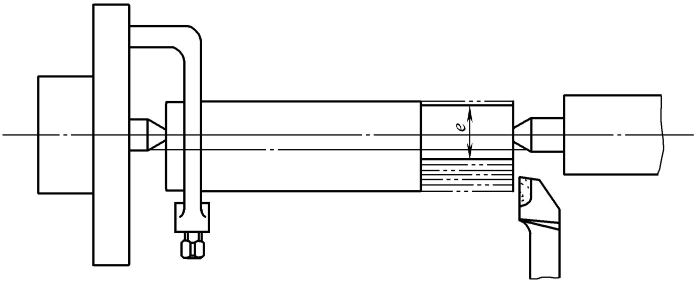


图 6-87　用两顶尖装夹偏心工件

6.5.2　偏心工件的切削要点

工件在装夹后，偏心部分的待加工表面与主轴旋转中心处于偏心状态，两侧

的切削余量相差较大，工件的重心也不在主轴旋转中心。因此，偏心工件的切削要点是：

1）车刀应先远离工件后，再起动车床，然后从偏心的最高处逐渐进刀，以防车床和车刀受损。

2）在开始进刀时，切削呈断续状态，使切削力不均衡。所以车刀应有足够的强度和刚度，以抵御断续切削力的冲击。

3）应加设适当的平衡块，以保持车削的平稳。

4）调整主轴轴承以及床鞍、中滑板、小滑板的移动间隙，提高车床的整体刚度。

5）选择合适的切削用量，主轴转速不宜过高，以防止过大的离心力对车床的损伤；进给量和背吃刀量应根据偏心距的大小和工艺系统的整体刚度选择。

6）偏心工件的切削应分粗车、半精车和精车。必要时，在精车前，应注意进行重新找正和夹紧，以防止粗车对工件位置的影响。

6.5.3　偏心距的测量

偏心工件偏心距精度的测量，通常采用如下方法：

1. 在两顶尖上测量

两端有中心孔的偏心轴，可将工件装在两顶尖之间，百分表触头触及偏心外圆。用手转动工件，百分表摆动差的 1/2，即为实测的偏心距，如图 6-88 所示。

在测量偏心孔时，是以内孔为基准面测量偏心距的。将心轴装夹在三爪自定心卡盘上，工件套装在心轴上，使内端面靠紧卡爪，百分表触头垂直指在偏心外圆上，慢慢转动卡盘，观察百分表读数的变化，其摆动量的 1/2 即为实测的偏心距，如图 6-89 所示。

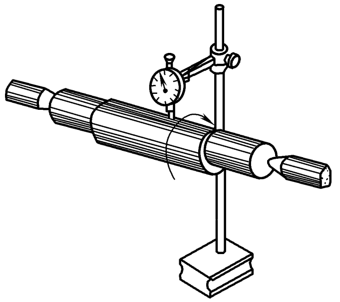


图 6-88　用两顶尖测量偏心工件

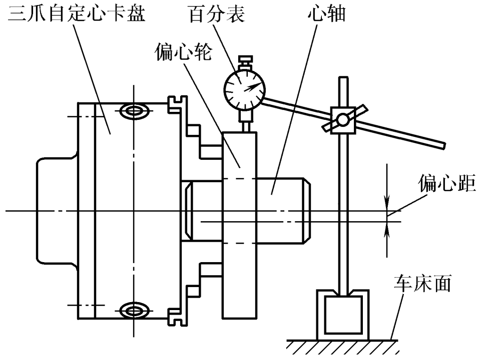


图 6-89　用心轴和百分表测量偏心轮

测量偏心距较大的工件，由于受到百分表测量范围的限制，可用间接测量的

方法测量偏心距，如图 6-90 所示。将工件直径 D 的轴面放置在 V 形块上，转动工件，用百分表测出直径为 d 的小圆顶点位置后，记录百分表读数。工件固定不动，移动百分表，测出支承面与小圆顶点的距离 a 后，用下式计算偏心距 e

$$e=\frac{D}{2}-\frac{d}{2}-a \tag{6-20}$$

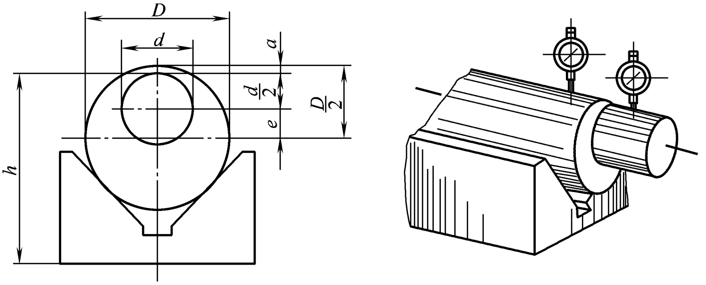


图 6-90　较大偏心距工件的测量

【实例 6-3】　曲轴加工工艺实例

车削如图 6-91 所示的曲轴。

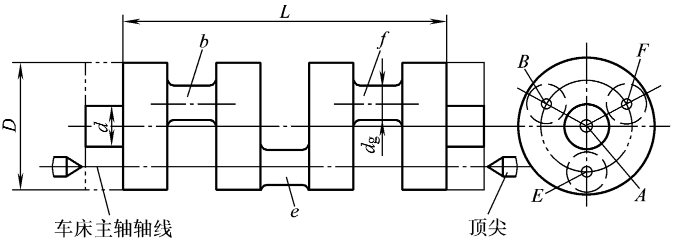


图 6-91　曲轴加工工艺简图

工艺分析：

1）工件毛坯采用自由锻造，锻出曲轴直径的圆柱体。

2）锻后进行正火处理，以消除锻件的内应力和减小变形。

3）三拐位置相对于基面等角等距布局，其轴心均在连续板直径范围以内，可以在相应的位置设置各中心孔，并采用两顶尖装夹的形式，使装夹方便，定位准确。

4）在车削三拐轴颈时，应先粗车并留有足够的加工余量后，进行调质处理，以改善切削性能，获得良好的综合性能。

2. 加工工艺

曲轴加工工艺如表 6-8 所示。

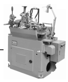


表 6-8　机械加工工艺卡片

×××厂	机械加工工艺卡片	产品名称		零件图号	
		零件名称	三拐曲轴	共　　页	第　　页

材料	40Cr	毛坯种类	热轧圆钢	毛坯尺寸	ϕ30mm	每毛坯可制件数		每台件数	

工序	工种	工步	工序内容	设备	夹具	刃具	量具
1	锻	1	$\phi D \times L$ 圆柱轴留余量 3mm	CA6140			
2	热处理	1	正火				
3	车	1	$\phi D \times L$				
4	划线		划出两端相对应的中心孔位置,打好样冲眼				
5	车	1	用两顶尖顶住轴颈 e 的中心孔,粗车轴颈 e,直径留加工余量 2mm,连接板留余量 0. 5mm				
		2	改换中心孔位置,分别粗车轴颈 b 和 f,直径留余量 2mm,连接板留余量 0. 5mm				
6	热处理		调质 250HBW				
7	车	1	用两顶尖装夹,分别精车 e、b 和轴颈,保证直径 d_g 和连接板端面长度的精度要求				
		2	用两顶尖装夹基准面中心孔,分别车两端的基准轴孔 d 各部,保证直径精度要求				

6. 5. 4　偏心工件常见加工缺陷分析

偏心工件常见加工缺陷分析如表 6-9 所示。

表 6-9　偏心工件常见加工缺陷分析

易出现的问题	产生原因	解决措施
偏心距不正确	(1) 划线及钻中心孔有误差 (2) 用三爪自定心卡盘车削时,垫块厚度计算不准或变形 (3) 找偏心距方法不当 (4) 工件没夹紧或装夹方法不当 (5) 车削细长偏心工件时,顶尖支撑时的松紧程度不合适,使工件的回转轴线跳动或弯曲,导致主轴线与偏心工件轴线误差 (6) 测量方法不正确	(1) 减小划线及钻中心孔时的误差 (2) 复查计算过程;热处理提高垫块硬度 (3) 反复找正偏心距,夹紧时力度均匀 (4) 根据偏心工件的特点,选择合适的装夹方式 (5) 装夹时顶尖顶力适当,不宜过松或过紧,在找正偏心距的同时,要保证工件的上母线和侧母线与主轴平行 (6) 正确掌握测量方法

（续）

易出现的问题	产生原因	解决措施
主轴轴线与偏心件轴线不平行	（1）划线或钻中心孔误差过大 （2）顶尖顶得过紧，使工件回转轴线弯曲，导致主轴轴线与偏心轴线的平行度误差过大 （3）切削力和切削温度的影响，使工件产生弯曲变形，造成偏心工件轴线的平行度误差过大	（1）减小划线及钻中心孔的误差 （2）调整好顶尖的松紧度 （3）分粗、精车进行，选择合适的车刀角度，浇注切削液
偏心轴端面的圆度误差过大	（1）车削时，偏心工件静平衡差异产生离心力，导致工件回转轴线弯曲，使工件外圆各处车削深度不等，从而使工件外圆出现圆度误差。静平衡差异越大，则圆度误差越大 （2）车床本身精度低，间隙过大 （3）工件装夹偏重，车床转速越高，离心力越大	（1）正确钻好各中心孔，使两端相对应的中心孔同一轴线不歪斜，反复仔细找正工件的静平衡，用两顶尖轻轻顶住，使工件在任何回转位置上都能停止和转动，加装和选择配重装置 （2）调整车床主轴床鞍以及中、小溜板的间隙 （3）加设配重，并选择合适的转速，使主轴运转平衡

6.6　特殊表面加工

特殊表面包括成形面、修饰面和表面粗糙度要求较高的工件表面等。

6.6.1　成形面的车削

在轴向剖视时，呈曲线形的工件表面叫成形面，如球状零件和弧面零件等。车削成形面的常用方法有以下几种：

1. 双手操纵法

数量较少或单件生产球类工件时，可采用双手操纵法车削成形面，即用双手同时移动中、小滑板或中滑板和床鞍，通过纵、横向的合成运动车出成形面的方法。

采用这种方法的操作，应首先计算各部相关尺寸后，再进行切削。下面以图 6-92 为例阐述球类工件的计算方法。

连 OA，在直角三角形 OAC 中，$OA=\dfrac{D}{2}$　$AC=\dfrac{d}{2}$　$OC=l$

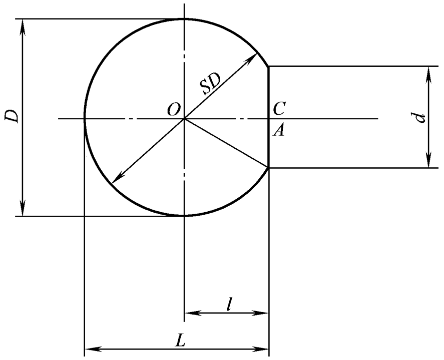


图 6-92　计算球面长度用图

所以
$$l = \sqrt{OA^2 - AC^2} = \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2}$$
$$= \frac{1}{2}\sqrt{D^2 - d^2} \qquad (6\text{-}21)$$

那么
$$L = \frac{D}{2} + l = \frac{D}{2} + \frac{1}{2}\sqrt{D^2 - d^2}$$
$$= \frac{1}{2}(D + \sqrt{D^2 - d^2}) \qquad (6\text{-}22)$$

现介绍车削如图 6-93 所示的三球手柄时的操作程序。

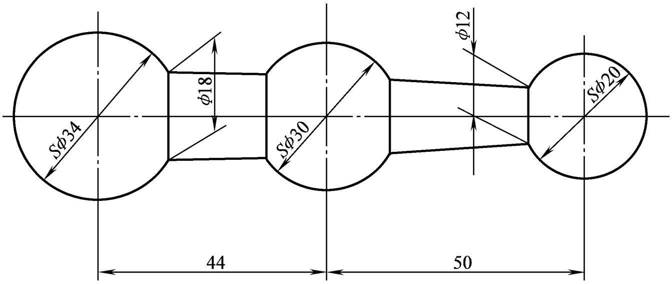


图 6-93　三球手柄

（1）计算相关尺寸　设大、中、小球直径依次为 D_1、D_2、D_3，球心分别为 O_1、O_2、O_3，手柄端点分别为 A_{O_1}、A_{O_2}，总长度为 l，各球面连接点分别为 A_1、A_2、A_3、A_4，它们相应的直径分别为 d_1、d_2、d_3、d_4，其中已知 $d_1 = \phi 18\text{mm}$，$d_4 = \phi 12\text{mm}$，如图 6-94 所示。

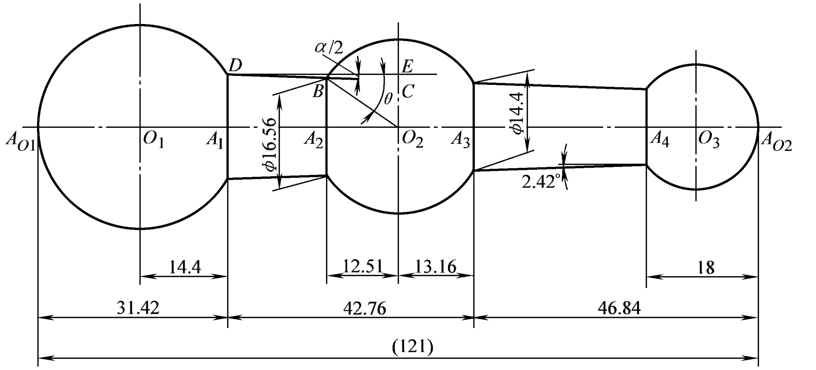


图 6-94　计算相关尺寸

1）计算总长度 l：根据已知条件，总长度
$$l = 44 + 5 + \frac{D_1}{2} + \frac{D_3}{2} = \left(44 + 50 + \frac{34}{2} + \frac{20}{2}\right)\text{mm} = 121\text{mm}$$

2）计算大球和小球的球面长度$\overline{A_{O1}A_1}$、$\overline{A_4A_{O2}}$

根据式（6-22）

$$\overline{A_{O1}A_1}=\frac{1}{2}(D_1+\sqrt{D_1^2-d_1^2})=\frac{1}{2}(34+\sqrt{34^2-18^2})\text{mm}=31.42\text{mm}$$

$$\overline{A_4A_{O2}}=\frac{1}{2}(D_3+\sqrt{D_3^2-d_4^2})=\frac{1}{2}(20+\sqrt{20^2-12^2})\text{mm}=18\text{mm}$$

3）计算圆锥体长度 L

$$L=l-(\overline{A_{O1}A_1}+\overline{A_4A_{O2}})=[121-(31.42+18)]\text{mm}=71.6\text{mm}$$

4）计算手柄圆锥半角$\frac{\alpha}{2}$

$$\tan\frac{\alpha}{2}=\frac{18-12}{2\times71.6}=0.042$$

查表：$\frac{\alpha}{2}=2.4°$。

5）计算中球球面长度$\overline{A_2O_2}$、$\overline{O_2A_3}$及其相对应的直径 d_2、d_3

以 O_2 点连接点 B，圆锥体连线 A_1 处连接点平行轴心线，分别相交于球心垂线 C 点和 E 点

$$\overline{O_2E}=\frac{d_1}{2}=\frac{18}{2}=9$$

根据式（6-21）

$$\overline{O_1A_1}=\frac{1}{2}\sqrt{D_1^2-d_1^2}=\frac{1}{2}\sqrt{34^2-18^2}\text{mm}=14.4\text{mm}$$

则：$\overline{DE}=44-\overline{O_1A_1}=(44-14.4)\text{mm}=29.6\text{mm}$

在直角三角形 DCE 中

$$\overline{EC}=\overline{DE}\tan\frac{\alpha}{2}=29.6\tan2.4°=1.24\text{mm}$$

那么
$$\overline{O_2C}=\overline{O_2E}-\overline{EC}=(9-1.24)\text{mm}=7.76\text{mm}$$

在$\triangle BO_2C$ 中，$\angle O_2CB=90°+\frac{\alpha}{2}=90°+2.4°=92.4°$，$BO_2=\frac{D_2}{2}=\frac{30}{2}\text{mm}=15\text{mm}$

设$\angle O_2BC=\theta$，根据正弦定理：

$$\frac{\overline{BO_2}}{\sin92.4°}=\frac{\overline{O_2C}}{\sin\theta}$$

则
$$\sin\theta=\frac{\overline{O_2C}\sin92.4°}{\overline{BO_2}}=\frac{7.76\times0.999}{15}=0.05166$$

查表得　$\theta=31.1°$。

在直角三角形 O_2BA_2 中

$$\angle O_2BA_2 = 90^\circ - \left(\theta + \frac{\alpha}{2}\right) = 90^\circ - (31.1 + 2.4) = 56.5^\circ$$

所以

$$\overline{A_2O_2} = \overline{BO_2}\sin\angle O_2BA_2 = 15\sin 56.5^\circ = 12.51$$

$$\overline{BA_2} = \frac{\overline{A_2O_2}}{\tan\angle O_2BA_2} = \frac{12.51}{\tan 56.5^\circ} = 8.28$$

即　　在 A_2 处连接面的直径 d_2 为

$$d_2 = 2\times\overline{BA_2} = 2\times 8.28\text{mm} = 16.56\text{mm}$$

根据同样算法，求出

$$\overline{O_2A_3} = 13.16\text{mm}$$

A_3 处直径 $d_3 = 2\times 7.2\text{mm} = 14.4\text{mm}$

6）求$\overline{A_3A_{O2}}$、$\overline{A_1A_3}$和$\overline{A_{O1}A_1}$

$$\overline{A_3A_{O2}} = 50 - \overline{O_2A_3} + \overline{O_3A_{O2}} = \left(50 - 13.16 + \frac{20}{2}\right)\text{mm} = 46.84\text{mm}$$

$$\overline{A_1A_3} = 44 - \overline{O_1A_1} + \overline{O_2A_3} = (44 - 14.4 - 13.16)\text{mm} = 42.76\text{mm}$$

$$\overline{A_{O1}A_1} = 31.42\text{mm}$$

将有关的计算尺寸，标注在图 6-94 中待用。

（2）车削步骤见图 6-95

1）将 ϕ36mm 的圆钢夹在卡盘合适的位置上，打中心孔，一端用活顶尖顶住。

2）在工件端部车长度大于中心孔深度的台阶。

3）分别车三级球面外圆，留有 0.2mm 左右的加工余量，并以台阶端面为基准，分别控制中球和大球的起始位置，形成台阶轴形状，如图 6-95a 所示。

4）用沟槽刀按各球球面长度的起始位置切槽，其深度按各连接点计算出的尺寸车削。大球的根部不能过细，以防折断。

5）用转动小滑板法车削圆锥体，如图 6-95b 所示。采用沟槽刀先从大端处进刀，当车至中球的内侧面时，记下中滑板刻度值，车刀横向退出后，将小滑板移动到中球的外侧面，再前移中滑板，使沟槽刀沿着中球内侧面进刀至原刻度值的位置，再摇动小滑板，继续完成圆锥体的切削，以保持圆锥体的连续性。

6）用双手操纵法。分别切削三球球面，如图 6-95c 所示。在切削球面时，先用车刀划出圆球的顶点中心线，两端用 45°车刀对称倒角后，以顶点为起点，先向右半球进刀。进刀时，应根据球面的位置适时控制纵向和横向进给速度的比例，它是遵循圆球的特性，以 $R^2 = X^2 + Y^2$ 为基本原则，即 X、Y 是平方的反比例关系。设纵向进给方向为 X，横向进给方向为 Y，那么在开始从顶点进刀时，球面变化的坡度较小，使得 X 方向的变化较大，Y 方向的变化较小，这时纵向进

给应大于横向进给的速度。在球的半径（即 45°）处，X 和 Y 的变化相同，所以纵进给和横进给速度相同。之后的区域，则球面坡度逐渐变大，横向进给也逐渐大于纵向进给速度。即从顶点开始至终点位置，纵向进给的相对速度是快→中→慢，横向进给的相对速度是慢→中→快。

7）在粗车和精车球面时，先使用圆头刀成形，再用矩形沟槽刀清理连接处根部。

8）用锉刀和砂布进行表面修整和抛光后切断。

9）修整大球端面，如图 6-95d 所示，去掉中心孔，如图 6-95e 所示。装夹的方法为：自制圆锥孔与手柄的圆锥角相同、内径相当的铜夹套，其外径大于大球直径，再对面锯开，套装在三爪自定心卡盘上。

用双手操纵法切削成形表面，其特点是简便灵活，不需要其他辅助工具。但需要有熟练的操作水平，掌握起来有一定难度，而精度低，表面质量极不稳定，只适用于精度要求不高的小批量生产。

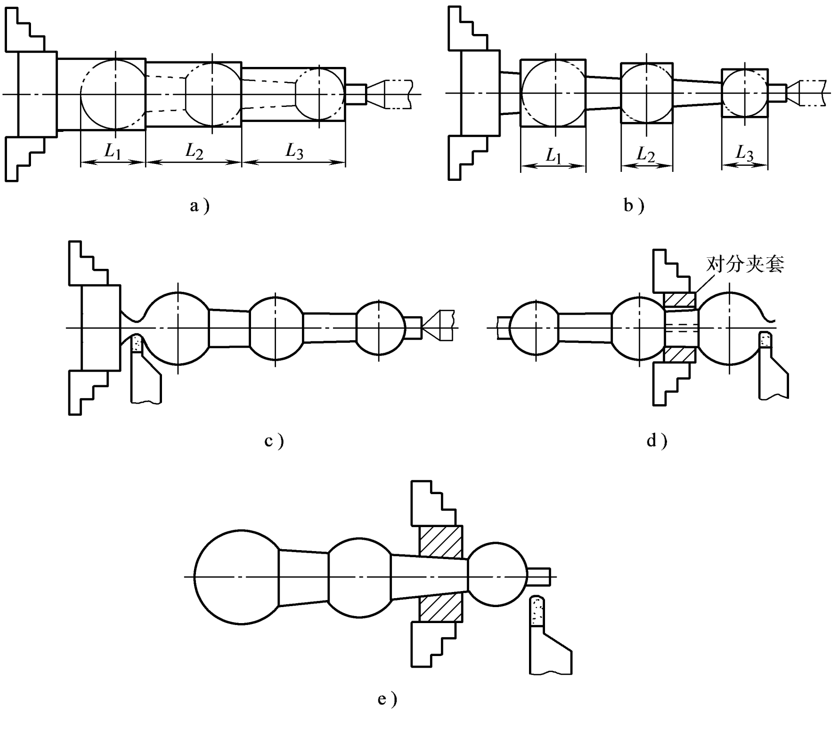


图 6-95　三球手柄车削步骤

2. 成形刀切削法

把车刀刃磨成工件成形面的形状，从纵向或横向进给将成形面加工成形的车削方法，称为成形刀切削法，所以成形刀又叫样板刀。当成形面较大或形状复杂

时，也可以将成形面分割成几段，将几把车刀分别按各分段成形面的形状刃磨后，再分别将成形面分段加工成形。

常用的成形刀有整体式、拼装式等。

（1）整体式成形刀　整体式成形刀与普通车刀相似，只是切削刃刃磨成与成形表面相同的曲线形状，如图 6-96 所示。采用整体式成形刀，质量稳定，生产效率高，适用于形状简单的成形面的批量生产。但由于切削时，切削面积较大，产生较大的切削抗力，容易出现振动现象，所以工件必须装夹牢靠，切削用量也尽量小些。

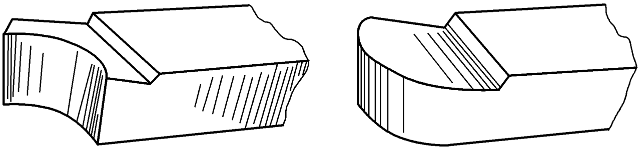


图 6-96　样板刀

（2）菱形成形刀　菱形成形刀由刀头和刀杆两部分组成，刀杆设有缓冲槽，刀头的切削刃按成形面的形状和尺寸磨出后，装夹在刀杆上具有后角 α_0 的燕尾槽中，如图 6-97 所示。

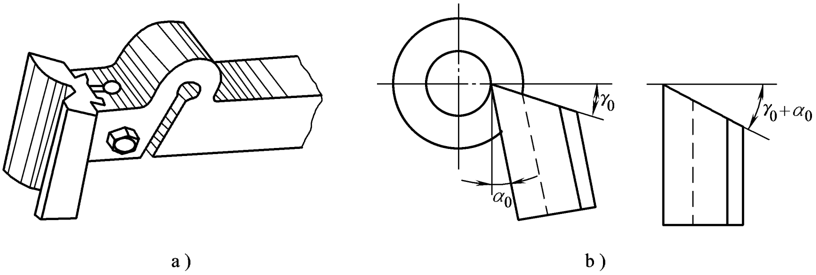


图 6-97　菱形成形刀

切削刃在磨损后，只需刃磨前面，相对于切削刃将前面磨出 $\gamma_0+\alpha_0$ 的角度，安装时，只要调节好刀头的相对高度，其前角和后角仍保持不变，可继续正常使用。

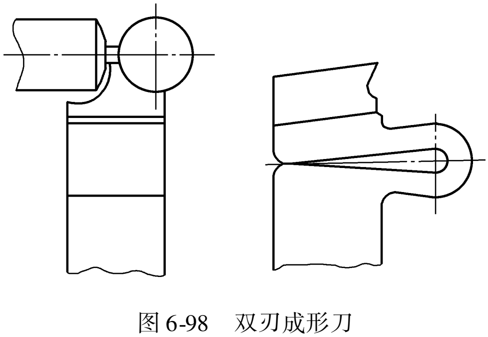


图 6-98　双刃成形刀

菱形成形刀调整方便、精度较高，使用寿命长，适用于批量生产。

（3）双刃成形刀　大批量生产如铜等软质材料的圆球类工件时，为提高工作效率，可采用双刃成形刀成形。成形刀有外半球和内半球

两个切削刃，如图6-98所示。当外半球成形后，再用右侧的成形刃车削内半球。

双刃刀的切削特点是：球面分两步成形，使切削力分散，又不必改换车刀即可成行，节省了换刀时间，而缓冲槽对突发力起缓冲作用，以保护车刀不受损伤。

（4）球面管刀　车削圆球过程中，在采用成形刀成形后，球面的圆度往往达不到技术要求。在实践中，我们采用球面管刀的修整措施，即将淬硬的管刀安装在刀杆上，可绕心轴作左右摆动，如图6-99所示。在成形刀成形后，留有0.1mm左右的余量，使管刀与球面接触，并在纵向进给和横向进给的配合下，沿球面缓慢移动，做微量切削，从而获得圆度精度较高的球面后，再确定球径尺寸。

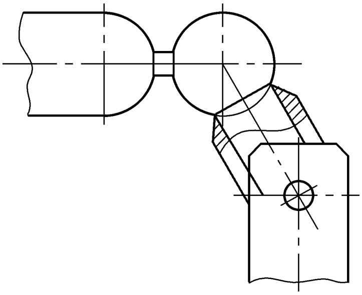


图6-99　车球面管刀

有时候，也可右手握住管刀，直接靠近球面施力，对球面进行修整。

球面管刀在磨损后，可用砂轮平行刃磨刃口后，再用磨石鐾光后继续使用。

用球面管刀修整球面，可获得很高的圆度精度，它适宜于对较软材料进行微量切削。

3. 仿形法

如图6-100所示，长刀夹2安装在刀架上，可绕心轴左右摆动。将车刀1和靠模杆4安装在长刀夹的对称位置上。再将与成形面的形状和尺寸相同的靠模3安装在尾座套筒上，并固定在合适的位置上。车削时，双手操纵纵、横向进给手柄，使靠模杆4始终紧贴靠模3，并沿着靠模表面跟踪移动，使车刀在工件表面上车出与靠模形状相同的成形面。

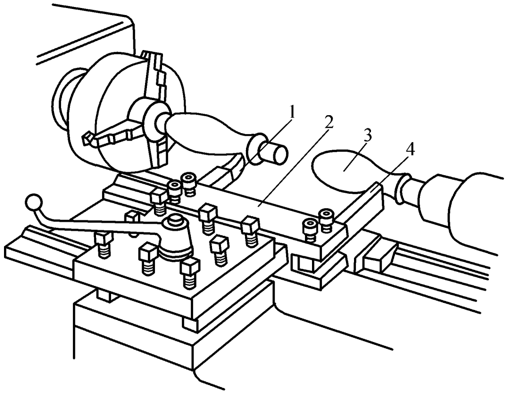


图6-100　尾座靠模车削成形面

1—车刀　2—长刀夹　3—靠模　4—靠模杆

为保证成形面精度，靠模杆端点圆弧半径应等于车刀刀尖的圆弧半径，才能准确仿形。这种方法结构简单，在车削大批量的成形面时，在一般车床上均可采用。

4. 成形面检测

在一般情况下，成形面没有精密的配合要求，尺寸要求也不十分严格，因此成形面多采用透光检测。当某个尺寸要求较高时，可用千分尺测量。成形面检测的常用方法是：

（1）样板透光检测　一般用半径样板或成形样板对圆弧或成形面进行透光检测。

1）用半径样板检测圆弧。半径样板又叫 R 规，分凸形样板和凹形样板，分别检测凹形圆弧和凸形圆弧，如图 6-101 所示。

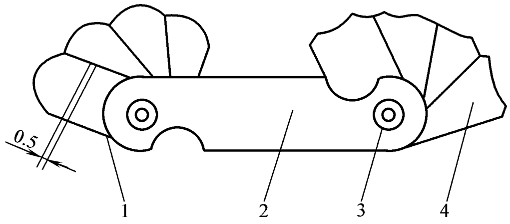


图 6-101　半径样板外形及结构

1—凸形样板　2—保护板　3—螺钉或铆钉　4—凹形样板

2）用成形样板检测成形面。将成形样板按成形面的反向做成，检测时，将成形样板与工件成形面的侧母线贴合，透光观察它们的吻合程度，如图 6-102 所示。

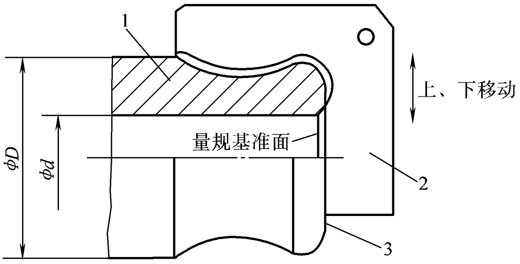


图 6-102　样板透光检测

1—工件　2—样板量规　3—工件测量基准面

透光检测的操作要点是：

1）样板的基准面必须贴合工件的测量基准面，以确定样板的起始位置。

2）样板成形面应指向工件的中心线，即与被测成形面的母线重合。

3）样板贴合在工件的测量基准面上，沿轴向上下移动，使整个成形面上透光均匀为合格。

（2）检测圆球精度　即检测圆球直径和圆度精度。

1）检测圆球直径。当圆球直径的尺寸精度要求较高时，可将球体在室温状态下，用外径千分尺通过圆球中心，并多次变换测量方向，使各方向上的精度均在允许的范围内。

2）检测圆球圆度。除用球形样板透光检测外，还可用套环观察其间隙透光状况，如用球面管刀的刃口检测等。

（3）对精度要求较高的成形面，如光学镜片等精密零件，可用三坐标测量仪测量成形面若干点坐标的方法测量。

6.6.2　表面修光

经过精车以后的工件表面，如果达不到表面质量或加工精度要求时，可以用锉刀、砂布或研磨剂进行修整抛光。所以在车床上修光，可分光亮修光和尺寸修光，其预留量一般在 0.01mm 以内。

1. 锉刀修光

锉刀修光是以尺寸修光为主操作的形式，通常选用细纹板锉或特细纹板锉

（油光锉）修光外圆。当修光用双手操纵法车削的圆球表面时，如果圆球圆度误差较大，可先用粗纹板锉修整后，再用细纹板锉或油光锉修光。

在车床上修光外圆时，为保证安全，应用左手握住挫柄，右手扶住锉刀前端施力，使手臂远离卡盘，如图 6-103 所示。

由于锉刀的锉齿向前倾斜，所以在用左手推进锉刀时，应与右手的压力配合用力，在回程时，则不施压作空程后移，以减少锉齿的磨损。推削速度一般在 40 次/min 左右，推进时稍慢，回程时稍快。锉削时，切削速度一般为 15 ~ 20m/min，用力应均匀，动作要自然协调。

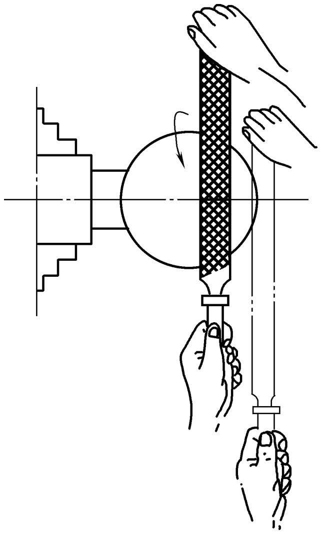


图 6-103　车削单球手柄抛光

锉削时，为防止锉屑滞塞在锉齿缝中，一般在锉齿面上涂上一层粉笔末，以便于清理。

球面与柄部的连接部位，应用半圆锉进行修整，如图 6-104 所示。

2. 砂布抛光

外圆表面在经过锉刀修光后，其表面仍留有细微饿锉痕，需用砂布或砂纸抛光的方法去除。所以砂布抛光也是精加工方法之一。

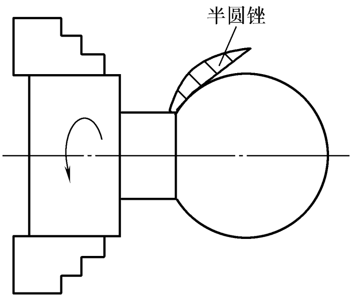


图 6-104　用半圆锉锉削连接部位

车床上抛光用的砂布，一般用金刚砂制成。常用的型号有：00 号、0 号、$1\frac{1}{2}$号和 2 号等，其号数越小，砂布越细，抛光的表面粗糙度值越低。所以，在抛光开始时先用 2 号砂布，最后用 0 号或 00 号细纱布抛光。

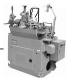
抛光的方法一是将砂布垫在板锉下面，或在抛光夹的圆弧槽内，用手夹紧抛光夹进行抛光；二是用手捏住砂布两端，在形面上移动抛光。

在使用砂布抛光时，车床转速应高些，移动速度和施力应均匀。

6.6.3　表面光整加工

用纱布抛光只能改变工件的表面粗糙度值，不能改变原始的形位状况。因此，当工件的形位精度要求较高，或有特殊使用要求，用一般方法达不到技术要求时，如密封性配合面等，应采用研磨的方法对工件表面进行光整加工。

研磨是由游离的研磨剂通过研磨工具，对工件进行微粒切削，从工件表面上



研除一层极薄的凸显的金属层，对工件进行精细加工。

1. 研磨原理

研磨光整加工包括了以下几个方面的作用：

（1）切削作用　一般研磨工具多用灰铸铁等金属制成，它的硬度比被研磨的工件低，内部组织也比较松散。研磨时，涂在研具表面的研磨剂受压后嵌入研具表面，构成多刃基体，当研具与工件表面作相对移动时，在压力作用下，研磨剂对工件表面产生挤压进行微量切削。

（2）塑性变形　钝化了的磨粒对工件表面进行挤压，使工件表面产生局部的塑性变形，表面的凸显面在反复的塑性变形中，产生硬化现象，最后断裂而形成细微的切屑而趋于熨平。

（3）化学作用　采用易使金属氧化的氧化铬和硬脂酸配制的研磨剂时，它们与空气接触后，工件表面会形成易于脱落的氧化膜。在研磨过程中，氧化膜不断地脱落，又不断地迅速形成，从而加快了研磨的切除作用。

2. 研磨剂

研磨剂由磨料和研磨液调合而成。

（1）磨料　磨料在研磨中起切削作用。常用的磨料及用途见表 6-10 所示。

表 6-10　常用的磨料及用途

系列	磨料名称	代号	特　　性	适 用 范 围
刚玉	棕刚玉	A	棕褐色。硬度高,韧性大,价格便宜	粗精研磨钢、铸铁、黄铜
	白刚玉	WA	白色。硬度比棕刚玉高,韧性比棕刚玉差	精研磨淬火钢、高速钢、高碳钢及薄壁零件
	铬刚玉	PA	玫瑰红或紫红色。韧性比白刚玉高,磨削表面质量好	研磨量具、仪表零件及高精度表面
	单晶刚玉	SA	淡黄色或白色。硬度和韧性比白刚玉高	研磨不锈钢、高钒高速钢等强度高、韧性大的材料
碳化物	黑碳化硅	C	黑色有光泽。硬度比白刚玉高,性脆而锋利,导热性和导电性良好	研磨铸铁、黄铜、铝、耐火材料及非金属材料
	绿碳化硅	GC	绿色。硬度和脆性比黑碳化硅高,具有良好的导热性和导电性	研磨硬质合金、硬铬、宝石、陶瓷、玻璃等材料
	碳化硼	BC	灰黑色。硬度仅次于金刚石,耐磨性好	精研磨和抛光硬质合金、人造宝石等硬质材料

磨料的粗细用粒度表示，其中颗粒尺寸大于 50μm 的用筛网分的方法测定，有 4#、5#、…、240#共 27 种；尺寸很小的磨料一般用显微镜测量的方法测定，有 W63、W50、…、W0.5 共 14 种，它们均按由粗到细排列。

磨料粒度的粗细与研磨加工的效率、精度和表面粗糙度有直接关系。各种磨

料的粒度与表面质量的关系见表 6-11。

表 6-11 磨料粒度与表面质量的关系

研磨粉号数	研磨加工类型	可达到的表面粗糙度值 R_a/μm
100# ~240#	用于最初的研磨加工	
W40 ~ W20	用于粗研磨加工	0.2 ~0.1
W14 ~ W7	用于半粗磨研磨加工	0.1 ~0.05
W5 以下	用于粗细研磨加工	0.05 以上

（2）研磨液　研磨液将磨料稀释调合成具有一定粘度的研磨剂，在研磨中起润滑和冷却作用。

常用的研磨液有煤油和 L-AN15 号润滑油，精研时可用 1/3 的润滑油加 2/3 的煤油混合使用。

有时，也可采用成品研磨膏作为研磨剂，用机油稀释后即可使用。它分粗、中、细三种，可根据实际选用。

3. 研磨工具

研磨工具主要是研磨工具的材料和研磨工具类型的选择和制作两个问题。

（1）研磨工具的材料　研磨工具应具有组织细密均匀、硬度适中，有较好的耐磨性。常用的材料是灰铸铁，它具有较好的自润滑性能，在其研具表面容易涂布均匀，而且价廉易得。球墨铸铁更容易嵌存磨料，而且更均匀、牢固，其研磨效果更好。

（2）研具的类型　应根据被研磨面的形状和特点选择研具的类型，常用的研具有研磨平板、研磨环和研磨棒等。

4. 研磨操作

（1）操作要点

1）被研磨面的表面粗糙度值 R_a 必须达到 1.6μm 以上，方可进行研磨。

2）被研磨面的余留量应在 0.005 ~0.02mm 范围内，或工件尺寸精度达到图样名义尺寸的公差上限。

3）先用煤油将研磨工具和被研磨表面清洗干净后擦干，均匀涂上研磨剂。

4）对加工质量要求较高的工件，应分粗研、半精研、精研等几道工序进行。在更换研磨剂时，应将前面的研磨剂清除干净后，再涂敷更换新的研磨剂。

5）研磨应在低速条件下进行。切削速度一般为 10 ~15m/min。

6）研磨时，施力应柔和、均匀、平稳。

（2）研磨圆柱面

1）研磨外圆柱面。在研磨外圆柱面时，通常采用有一定宽度的研磨平板进行研磨，在研磨平板上涂敷均匀的研磨剂，类似于使用板锉的操作方法，在被研

磨表面上作前后左右的均匀移动。

当精度要求很高时，可用研磨套研磨外圆柱面。研磨套内孔应比被研工件的外径稍大一些，孔壁开有正反螺旋槽，并开一长条口，使用时将研磨套安装在卡箍内，与工件的间隙调整到 0.01 ~ 0.03mm。当车床带动工件旋转时，使研磨套沿轴向作往复移动，如图 6-105 所示。

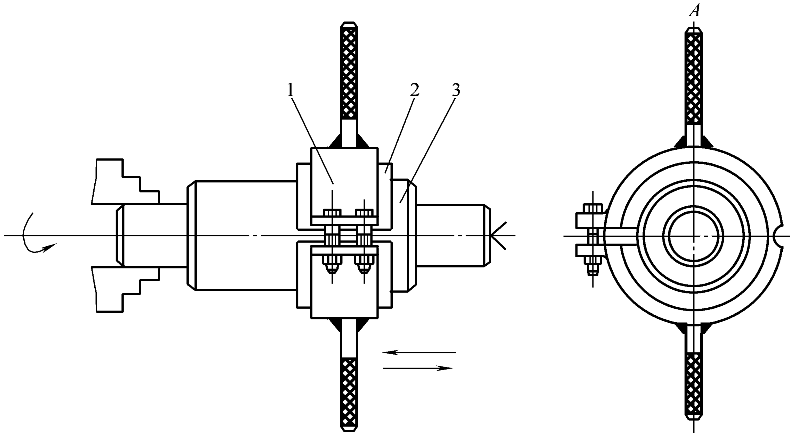


图 6-105　研磨外圆工具

1—卡箍　2—研磨套　3—工件

2）研磨内圆柱面。在研磨内圆柱面时，可将研磨棒装夹在卡盘上，把工件套在研磨棒上研磨。研磨直径较大的孔，可制作可调式研磨工具进行研磨，如图 6-106 所示。制作时，研磨棒 2 内锥孔与心轴 1 的圆锥体着色研合，外径比被研孔径小 0.02 ~ 0.03mm。将心轴装夹在车床上，工件 3 套在研磨棒上，即可进行研磨。当研磨棒外圆磨损时，可拧动调节螺母，使研棒向内移动而涨大。如果研磨棒磨损严重，可在研磨棒涨大后，重新将外径车到合适的尺寸，从而可多次使用。

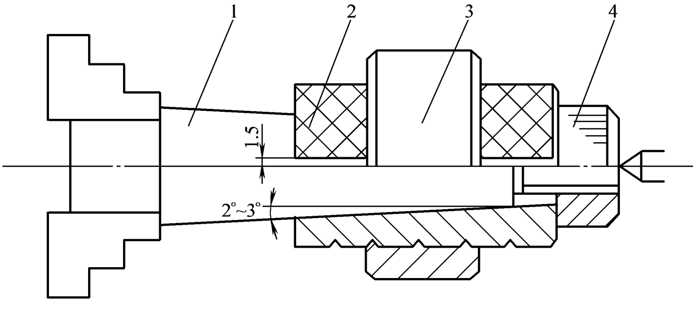


图 6-106　可调式研孔工具

1—心轴　2—研磨棒　3—工件　4—调节螺母

3）研磨圆锥面。有配合要求的圆锥面，也应采用研合的操作方法。研磨棒或研磨套的圆锥角必须与工件相同，研具表面车出右向螺旋线，如图 6-107 所示。

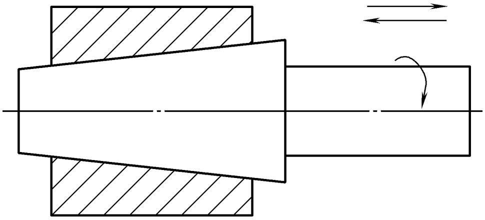


图 6-107　研磨圆锥面

研磨圆锥面既可在车床上或钻床上进行，又可徒手研磨。研磨时，在研具表面均匀涂上研磨剂，插入或套入被研磨的圆锥面上，沿螺旋线反方向旋转 4～5 周后，再将研具退出并改变位置，重新研入。当研磨到接近要求时，取下研具，擦净研磨剂检测。这样，经过重复研磨，直到被研磨表面研痕均匀为止。

在研磨过程中，由于研具总有磨损，使基本面发生轻微的变化，因此在研磨阀门等有密封要求的工件时，多采用对号入座的方式进行研磨，即单件单配，直接用彼此组装的圆锥表面进行研磨。

5. 研磨常见操作缺陷分析

研磨时常见操作缺陷分析见表 6-12。

表 6-12　研磨时常见操作缺陷分析

废品形式	废品产生原因	解决措施
表面粗糙	（1）磨料过粗 （2）研磨液不当 （3）研磨剂涂得太薄而不均匀 （4）研磨剂中混入杂质	（1）正确选择磨料 （2）正确选择研磨液 （3）研磨剂涂布应适当 （4）重视清洁工作
孔口扩大	（1）研磨剂涂得太厚 （2）研磨时压力过大 （3）孔口边缘被挤出的研磨剂未擦去就继续研磨 （4）研磨棒伸出孔口太长 （5）研磨棒与被研孔间隙太大，产生径向摆动 （6）研磨棒或孔有原始锥度	（1）研磨剂应涂得适当 （2）研磨力应平稳均匀 （3）被挤出的研磨剂应擦去后再研磨 （4）研磨棒伸出长度应适当 （5）研磨间隙应尽量小些，以保持径向研磨的平稳性 （6）修整原始精度，达到技术要求
孔成椭圆形或有锥度	（1）研磨时没有更换方向 （2）研磨时没有调头研磨	（1）研磨时应变换方向 （2）研磨时应调头研磨
薄形工件拱曲变形	（1）工件发热仍继续研磨 （2）装夹不正确引起变形	（1）不使工件温度超过 50℃，发热后因暂停研磨 （2）装夹要稳定，不能夹得太紧

6.6.4　滚压加工

滚压加工是在车床上对车削表面进行光整和强化的工艺，是无屑加工的一种。它利用硬度很高、表面粗糙度值很低的滚轮或滚珠，在常温状态下对金属工件表面进行挤压，使表层金属凸起的部分下压，凹下的部分上挤，将前道工序留下的波峰压平，从而修正工件原始表面的微观几何形状，同时使工件表面的金属组织细化，工件表面粗糙度值降低，提高金属表面的显微硬度和疲劳强度。

1. 滚压加工的特点

1）滚压加工可显著改善加工表面的表面质量，滚压加工后的表面粗糙度值 R_a 一般可达 0.4～0.05μm。

2）强化工件工作表面，表层硬度一般可提高 10%～40%，表面硬化层深度可达 0.2mm 以上，表层金属的耐疲劳强度可提高 5%～30%，从而大大提高工件的使用寿命。

3）生产效率高。滚压加工比一般磨削或其他光整加工方法提高 30% 以上。

4）滚轮或滚珠与工件表面是滚动摩擦，它们的磨损较小。因此，如果选择合适的预留量和保持较好的原始尺寸精度，滚压加工的尺寸精度可达 IT6 以上。

5）应用广泛，凡是在常态下能产生塑性变形的金属类工件，均可采用滚压加工的方法。

6）一般情况下可以替代磨削、抛光、研磨等精加工工序，降低加工成本。

7）不需要专用设备，只需配备合适的滚压工具，即可在车床上对工件的外圆、内孔和平面进行滚压加工。

2. 滚压加工的内容

通过滚压工艺可加工圆柱形或圆锥形工件的外表面和内表面、凹槽、台阶轴的过渡圆角和端面等，如图 6-108 所示。同时，还可对壁薄的金属构件进行挤压和拉伸成形，以及滚压花纹等工艺加工。

3. 滚压工具的结构形式

根据滚压工具支承形式的结构特点，可分为弹性滚压工具和刚性滚压工具两类。

（1）弹性滚压工具　将滚轮或滚球等滚压元件支承在具有弹性功能的杆体上的结构称为弹性滚压工具。弹性元件的弹压力调整合适后，使滚压元件始终紧贴工件表面。

采用弹性滚压工具滚压工件表面，虽然滚压平稳，无显著振动，但它在滚压过程中，在弹力作用下，只是紧贴工件表面，随弯就弯，随着滚压前的原始表面移动，即只降低表面粗糙度值，不改变原始的直线度。所以，只有保证滚压前工件表面的直线度，才能提高滚压的综合质量。

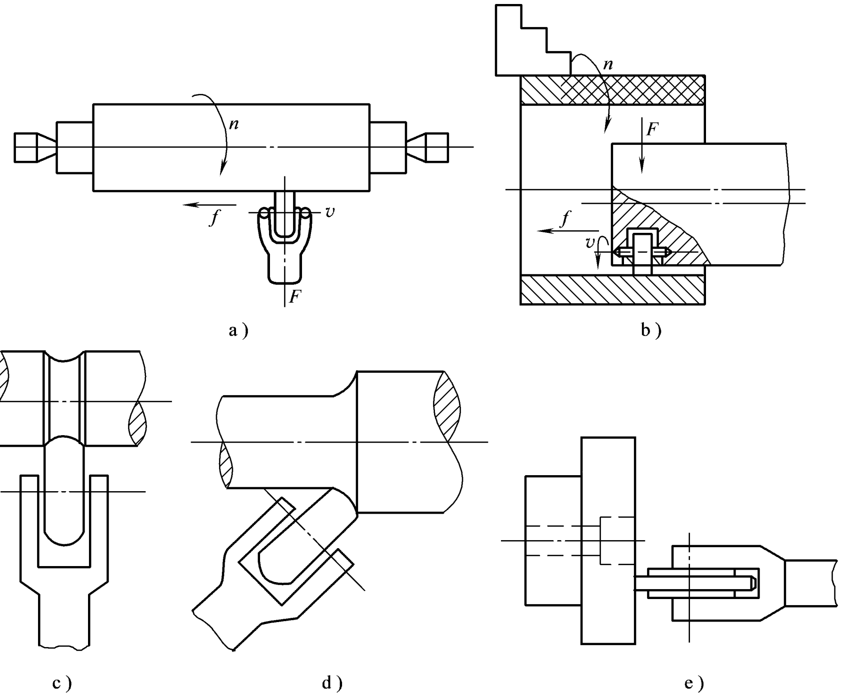


图 6-108　滚压加工的内容

a）滚压圆柱外表面　b）滚压圆柱内表面　c）滚压圆柱凹槽　d）滚压过渡圆角　e）滚压端面

1）单滚轮滚压工具。它的结构形式如图 6-109 所示。滚轮 1 安装在弹性刀杆上，为承载较大的滚压力，在杆体内设置推杆 5，并在弹簧 3 的作用下，推向刀杆前端。这种滚压工具结构简单，可通过螺塞 4 调整弹簧压力，通用性强。

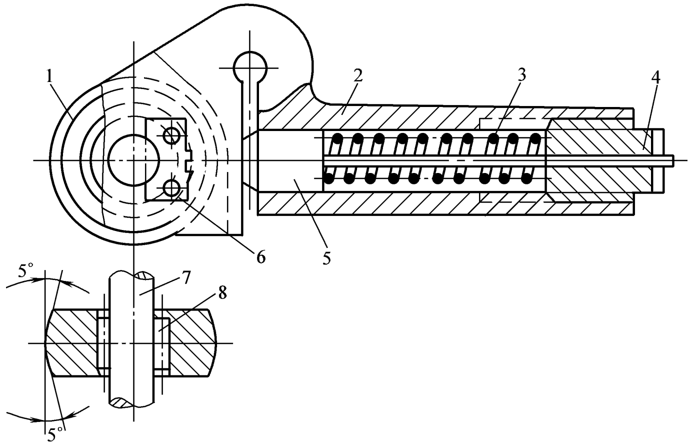


图 6-109　单滚轮滚压工具

1—滚轮　2—杆体　3—弹簧　4—螺塞　5—推杆　6—挡板　7—轴　8—滚针

2）单滚珠弹性滚压工具。它的结构形式如图 6-110 所示。图 6-110a 为通用滚压工具。三个小滚珠 6 支撑着滚压滚珠 7，并被盘式蝶形弹簧 3 顶起的托架 4 托住，使滚压滚珠 7 转动灵活。滚压力用调节堵 2 进行调节。将它们组装在支承座 5 的内孔中，形成通用滚压工具，它可安装在刀杆 1 侧面或端部，分别进行内孔或外圆的滚压。

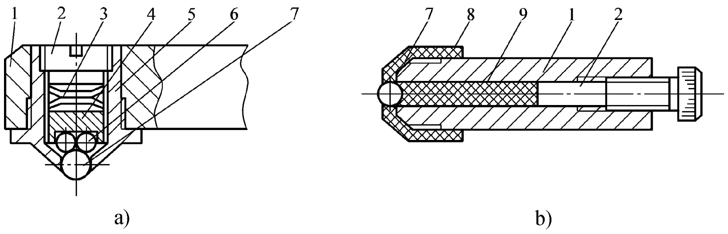


图 6-110　单滚珠弹性滚压工具

1—刀杆　2—调节堵　3—蝶形弹簧　4—托架　5—支承座　6—小滚珠
7—滚压滚珠　8—背帽　9—液态塑料

采用蝶形弹簧，可使弹力稳定，承受较大的滚压冲击。

图 6-110b 将滚压滚珠 7 支承在封闭的液态塑料上，可减小摩擦，提高滚压速度。

（2）刚性滚压工具　将滚压元件置于刚性支承构件上，使滚压元件在滚压过程中，始终保持在原来的位置上，可弥补原始表面的直线度误差，使滚压力随着原始表面的微观状态波动。如果原始表面高低不平，它在一定程度弥补直线度误差，但会影响表面质量。

1）外圆滚压工具。具有滚压和滚辗效应的滚压工具如图 6-111 所示。它的结构特点是：滚轮刚性安装在滚动轴承的心轴上，滚轮前端设置 15°的压角，以保证顺利楔入工件表面。滚轮轴线在工件轴线垂直平面内，顺时针方向倾斜，形成 $\lambda=1°$左右的刃倾角。这样，滚轮在楔入工件表面时，具有滚压和滚辗作用，提高滚压效果。同时，加大滚轮外径，减小了滚轮的转速，从而减轻了磨损，可提高滚压速度。

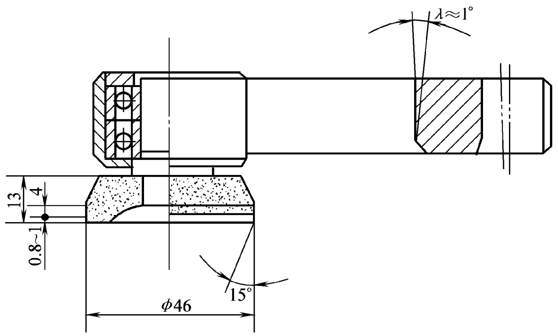


图 6-111　外圆滚压工具

2）双滚轮浮动滚压工具。在加工精度较高、直径较大的内孔时，可采用双滚轮浮动滚压工具，如图 6-112 所示。滚轮 5 用硬质合金制作，安装在滚针 4 上，绕心轴旋转。它的运作机理与浮动镗刀相似，也安装在镗刀杆上操作，可以自动定心，当滚轮磨损时，可调节螺钉 2，对滚压尺寸进行调节。

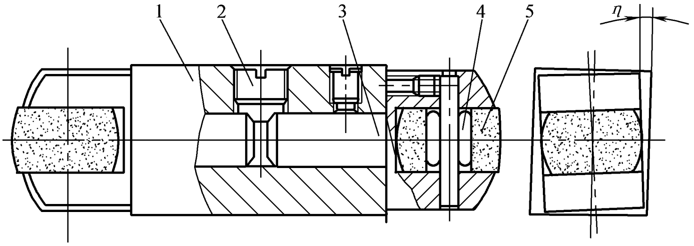


图 6-112　双滚轮浮动滚压工具

1—主体　2—螺钉　3—滚轮座　4—滚针　5—滚轮

4. 滚压加工的操作要点

1）滚压元件的硬度应在 62HRC 以上，表面粗糙度值 R_a 应小于 0.05μm，同轴度、圆度误差也应在 0.005mm 之内。

2）滚压速度受工艺系统刚性、摩擦热以及磨损因素的影响。所以滚压速度 v 应在保证车床、滚压工具正常使用的情况下选择。不同滚压工具的滚压速度见表 6-13。

表 6-13　不同滚压工具的滚压速度

结构形式	滚压速度 v/(m/min)	
	外圆滚压	内孔滚压
硬质合金滚轮式滚压工具		
滚柱式滚压工具	<40	30～40
硬质合金 YZ 型深孔滚压工具	—	30～40
圆锥滚珠深孔滚压工具	—	60～80

3）压入深度是压入前后工件半径的变化量，或即切削过程的背吃刀量 a_p，它受到工件材料的硬度和原始表面状态影响。压入深度过小，工件表面的表面粗糙度值高，起不到滚压的理想作用；压入深度过大，工件表面容易产生粘附、脱皮现象。在一般情况下，压入深度即滚压的预留量在 0.01～0.02mm 范围内。

4）进给量 f 是关系滚压质量的重要参数，一般应根据工件材料、滚压元件的形式和工件的技术要求选择。一般 f=0.1～0.25mm/r。对于单珠式滚压工具，与滚珠直径 d 有关，通常取 f=(0.01～0.02)d。

5）滚压次数。实践证明，工件在第一次滚压后，表面粗糙度值显著降低，而第二次滚压后则变化不大。当滚压次数过多时，工件表面则会发生微小裂纹或起皮现象，表面粗糙度反而变坏。所以应在选取合理的滚压用量后，一次滚压为宜，最多不超过两次。

6）切削液。正确选择切削液可减少滚压力和机床功率消耗，提高滚压元件的使用寿命，减少工件的热变形，提高工件的表面质量。

滚压钢件时，可采用 40% 的润滑油加 60% 的锭子油；滚压铜、铝及其合金和铸铁时，一般可用 50% 的润滑油加 50% 煤油。

滚压前应清洗工件表面，切削液也必须进行过滤，以保证滚压过程有良好的清洁环境。

7）工件表面的原始状态。滚压质量除受上面因素的影响外，主要取决于工件表面的原始状态，如采用刚性滚压工具，只能提高原始精度的 5% ~10% 左右。工件表面的原始状态越好，滚压质量也越好。因此，在滚压前工件表面，在留有合适的滚压预留量时，应进行精加工，使工件表面粗糙度值 R_a 在 6.3μm 以下，形位精度也应在工件技术要求允许的范围内。

8）滚压操作时，不能用手或棉纱、毛刷等接触工件，以防止发生安全事故。

5. 薄板压延技术

薄壁的管状和盘状工件，一般是采用成形模具冷压或压铸成形的。但是设计和制造模具的费用较高，工件的小批量生产会加大成本投入。在实践中，可采用压延薄板的方法，成形工件。

（1）成形排气罩　排气罩材料为厚为 0.8mm 的铝制工件，由于生产批量不大，作模成形会增加成本，如用铝料车削又费工费料，质量也不容易保证。我们采用薄板压延方法成形，如图 6-113 所示。

先将 0.8mm 厚的铝板按计算直径，剪切成正八角形，钻中心部孔。将形模 1 装夹在卡盘上，压盘 4 装在活顶尖 3 的前端。将坯料以中心孔定位装夹在形模和压盘之间。滚轮 5 安装在滚针 6 上，可绕轴 7 作滚动旋转，以减轻摩擦。

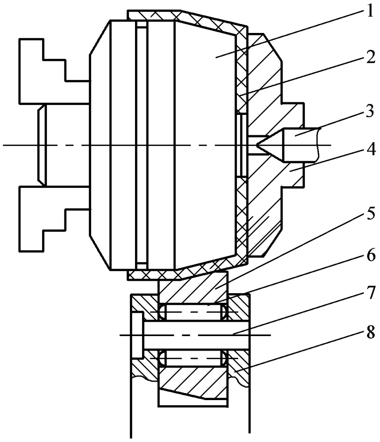


图 6-113　排气罩压延成形

1—形模　2—工件　3—活顶夹　4—压盘　5—滚轮　6—滚针　7—轴　8—刀杆

启车后，先用木棒将坯料外缘逐渐向形模滚压，在迫近成形面后，改用滚轮由右到左沿成形面滚动，使坯料逐渐成形后，按工件长度尺寸切下。

（2）压延成形扩散口　带扩散口（喇叭口状）的工件，当批量较大时，可用成形模具成形扩散口。当批量较小时，可采用压延成形扩散口的方法，如图6-114所示。

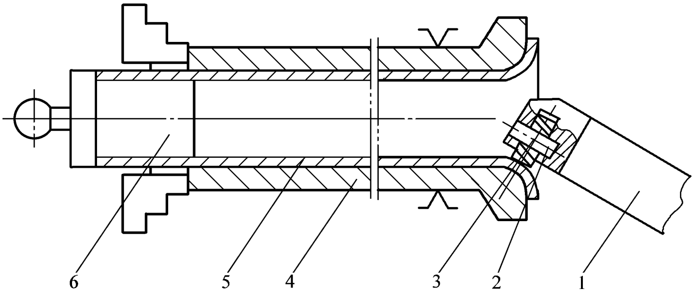


图6-114　压延成形扩散口

1—刀杆　2—圆柱销　3—滚轮　4—形模　5—工件　6—堵塞

工件材料是壁厚为1mm的不锈钢管，按计算长度下料后，将堵塞6装入坯料尾端内孔中，以防止坯料夹紧变形。将形模4套在坯料外，垫上铜片，在合适的位置上把坯料夹紧。启车后，滚轮3靠近坯料端部，并向进给，使坯料逐渐向外扩张。基本成形后，滚轮3再沿着形模4由内向外滚压，使成形面完全贴近形模。

形模4端面应与扩散口内圆弧的形状和尺寸相同，它使管口形状准确，性能良好。同时形模4还起操作面的支承和加固作用，如果管筒过长，可在形模前端加设带淬硬卡爪的中心架，以支承压延过程的滚压力。

【实例6-4】　金属管压延封口技术实例

当薄壁管类工件要求一端或两端封口时，常用的方法是加设塞堵后焊接，或用缩口模压延封口。前者生产效率低，质量也不稳定；后者会提高生产成本，生产周期也较长。一般在小批量生产时，可在车床上采用压延封口工艺方法。

图6-115为交换器压延封口过程。交换器由壁厚为1.5mm的不锈钢管制成（两端封口后，再从侧面加设几个交换管路参与工作），把切好的钢管垫上铜垫后装夹在三爪自定心卡盘上，开车后，用硬质合金挤压球面，从封口球面的中心偏右处接

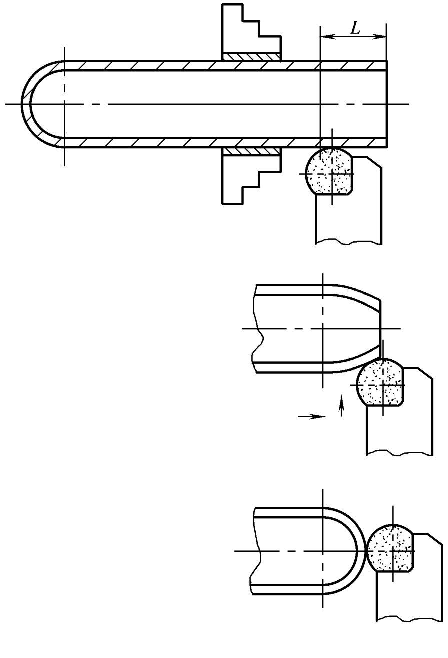


图6-115　交换器压延封口过程

触钢管，并反复在向前进给的过程中，缓慢向右压延，使钢管端部逐渐形成球面状态，并在反复压延后形成标准球面时，实现钢管的封口。

压延封口技术操作简单实用，效率较高，成本较低，可在批量生产时应用。压延封口操作应注意以下问题：

1）压延封口应在高速状态下进行。硬质合金球面与管壁接触后，在高速和挤压力作用下，产生大量的摩擦热，当达到一定温度时，使管壁变软，增强压延的塑性变形。所以，在某一点处，应在加大挤压力时，停留一段时间，待升温变形时，再向前移动。

2）反复挤压，反复操作。在接近成形时，沿着球面轨迹移动，形成所需要的球面。

3）钢管坯料事先应进行退火处理，以降低材料的硬度，提高塑性，以改善压延封口的变形性能。

4）在封口完成后，周边的金属只是松散地粘接并非焊牢在一起，不能承受较高的液体或气体的压力。因此，当加工有压力要求的密封工件时，可缩小变形的长度 L，压延封口后，留下一个小口，再用氩弧焊封死，并在修光后抛光。

5）硬质合金的挤压球面应有较高的表面质量，经研磨抛光后，表面粗糙度值 R_a 应在 0.8μm 以下，以避免产生啃切现象。

6. 表面滚花

表面滚花是滚压加工的一种，也属于无屑加工。它在机床操作零件和常用工具的手捏部位的表面，用滚花刀滚压后，使其表面产生塑性变形而形成花纹，以增加紧固件的手的摩擦力，使施力省力并增加美感。

滚花的花纹有直花纹和网纹两种，如图 6-116 所示，有时也采用斜纹形式。它们的主要参数是花纹节距 p，它反映花纹的粗细程度。由于滚轮一般采用铣齿轮的加工方法，所以它以齿轮系列作为标准。滚轮的一般尺寸见表 6-14。

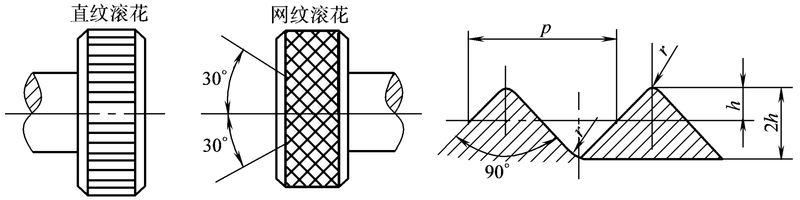


图 6-116　花纹种类及标注方法

表 6-14　滚轮的一般尺寸　（单位：mm）

模数 m	h	r	节距 p	模数 m	h	r	节距 p
0.2	0.132	0.06	0.628	0.4	0.264	0.12	1.257
0.3	0.198	0.09	0.942	0.5	0.326	0.16	1.571

滚花刀可作成单轮、双轮和六轮。双轮滚花刀由左、右旋两个斜纹滚花刀组成，用以滚压网纹。六轮滚花刀由网纹节距不等的三组滚花刀组装在特制的刀杆上，以方便使用。

（1）滚花刀的选择　一般应按图样规定的花纹形状和节距 p 选用滚花刀。通常应根据工件直径和花纹宽度选择节距，工件直径和宽度较大时，应选择较粗的花纹，反之，则选择较细的花纹。

（2）滚花刀的装夹　和装夹普通车刀相似，在摆平刀杆后，调整滚花刀的中心高度与工件旋转中心等高。为便于轮齿切入工件表面，可将滚轮外圆表面与工件外圆形成 2°～3°的顺时针方向的夹角，如图 6-117 所示，在滚压开始时，使滚轮前端先接触工件。

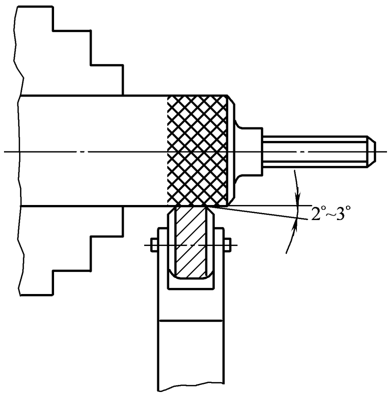


图 6-117　滚花刀的装夹

（3）操作步骤

1）由于滚花时工件表面产生塑性变形，使外圆增大，所以应根据材料性质和节距 p，把待滚花的直径比名义尺寸车小 p(0.25～0.5)mm。

2）起动车床，先用滚轮宽度的 1/2～1/3 对准工件前端，用较大的径向力进给以减小滚轮的滚压面积，提高工作压强，使滚轮容易压入表面。形成较深的花纹时，再进行纵向进给，并反复来回滚压 2～3 次，使花纹清晰美观为止。

3）清角。

（4）操作要点

1）滚花时应选择较低的切削速度，以防止滚轮和工件表面产生滑移，一般为 7～15m/min。

2）滚轮应转动自如，孔径与轴的配合精度，应按 H7/h8 选择，特别是同轴度允差应小于 0.01mm。

3）滚花虽是无屑加工，但在滚压过程中，会产生一些碎屑，它们夹杂在滚压表面，不仅影响滚花质量，也影响滚轮寿命。因此，除了加注足量的切削液外，还应及时清除碎屑等杂质。

4）滚花的径向力较大。所以应适当控制进给力度。精车也应安排在滚花之后进行，以防止工件变形。

5）滚花前工件表面粗糙度值 R_a 应在 6.3μm 左右。

6）滚花时不可触摸工件。

第 7 章　车螺纹操作技术

在很多零件中都设置螺纹，它主要起零件间的相互联接、紧固和传递动力等作用。车削螺纹是车工操作的重要内容。

7.1　螺纹的基本尺寸与运算

1. 螺纹的分类

螺纹有以下几种分类方法：

按用途分：联接螺纹、传动螺纹等；

按牙型分：三角形、梯形、矩形和锯齿形螺纹等；

按计制分：米制螺纹、英制螺纹；

按螺距粗、细分：粗牙螺纹和细牙螺纹；

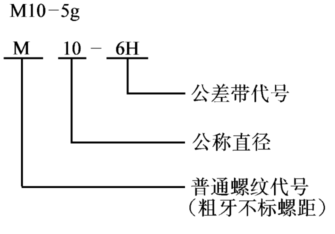
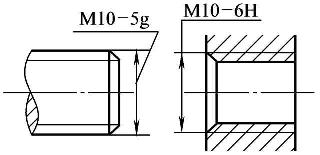
按螺纹线方向分：右旋和左旋螺纹；

按螺旋线线数分：单线螺纹和多线螺纹；

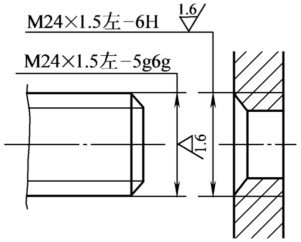
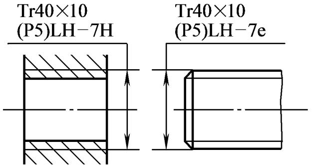
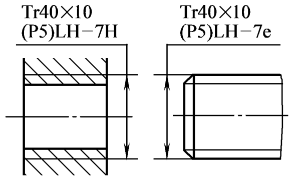
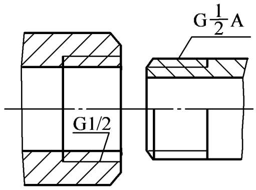
按母体特点分：内、外圆柱螺纹和内、外圆锥螺纹等。

按用途和牙型大体分类如图 7-1 所示。常用螺纹的种类、代号和标注形式如表 7-1 所示。

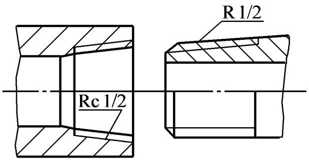
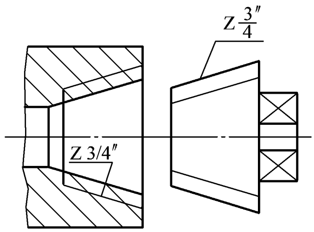
表 7-1　常用螺纹的种类、代号和标注形式

螺纹种类		种类代号	代号标记方法及说明	代号标记应用示例
联接螺纹	粗牙普通螺纹	M		

（续）

螺纹种类		种类代号	代号标记方法及说明	代号标记应用示例
联接螺纹	细牙普通螺纹	M	M 24 × 1.5左 －5g6g 5g6g：公差带代号 左：旋向 1.5：螺距 24：公称直径 M：普通螺纹代号	
传动螺纹	梯形螺纹	Tr	Tr 40 ×10 (P5) LH−7H 7H：公差带代号 LH：左旋螺纹（左旋用LH表示，右旋不标记） (P5)：螺距 10：导程 40：公称直径 Tr：梯形螺纹代号	
	锯齿形螺纹	B	Tr 40 ×10 (P5) LH−7H 7H：公差带代号 LH：左旋螺纹（左旋用LH表示，右旋不标记） (P5)：螺距 10：导程 40：公称直径 Tr：梯形螺纹代号	
联接螺纹	非螺纹密封的管螺纹	G	G 1/2 A A：公差等级代号（内螺纹不分等级） 1/2：尺寸代号（英寸值，1in＝0.0254m） G：螺纹特征代号（圆柱外螺纹）	

（续）

螺纹种类		种类代号	代号标记方法及说明	代号标记应用示例
联接螺纹	用螺纹密封的管螺纹	R Rc Rp	R 1/2 1/2 — 尺寸代号 R — 螺纹特征代号（圆锥外螺纹） Rc 1/2 Rc — 螺纹特征代号（圆锥内螺纹） Rp 1/2 Rp — 螺纹特征代号（圆锥内螺纹）	
联接螺纹	60° 圆锥管螺纹	Z	Z $\frac{3''}{4}$ $\frac{3''}{4}$ — 尺寸代号（英寸值，1in = 0.0254m） Z — 螺纹特征代号（圆锥管螺纹）	

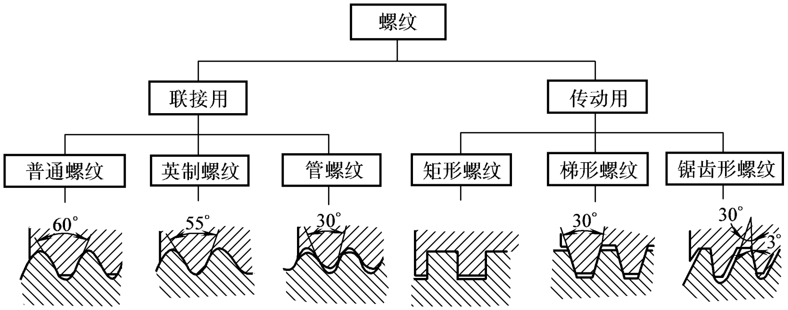


图 7-1　按用途和牙型分类螺纹

2. 螺纹术语

以图 7-2 所示的三角形螺纹为例，加以说明。

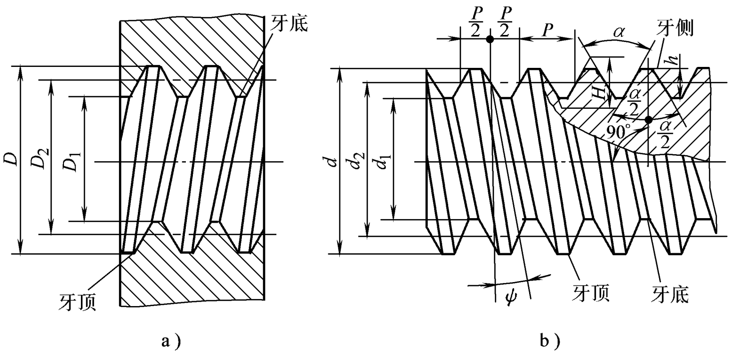


图 7-2　三角形螺纹各部分名称

a）左旋内螺纹　b）右旋外螺纹

（1）螺纹直径　根据螺纹的结构特征，螺纹直径有如下几种。其中外螺纹用小写英文字母表示，内螺纹用大写英文字母表示。

1）公称直径。指螺纹的大径的基本尺寸。

①外螺纹大径 d：指外螺纹顶径。

②内螺纹大径 D：指内螺纹底径。

2）螺纹小径

①外螺纹小径 d_1：指外螺纹底径。

②内螺纹小径 D_1：指内螺纹孔径。

3）中径 d_2、D_2。是一个假想圆柱的直径，指该圆柱的母线通过牙型上沟槽和凸起宽度相等（等于基本螺距的一半）的地方。同一规格的外螺纹中径 d_2 和内螺纹 D_2 的中径相等。

螺纹中径 d_2、D_2 是螺纹的重要尺寸参数，它们的尺寸精度直接反映了螺纹的配合精度。

（2）螺距 P　相邻两牙在中径线上对应两点间的轴向垂直距离，是度量螺纹线间距大小的重要参数。

（3）导程 L　在多线螺纹的同一条螺纹线上，相邻两牙在中径线上对应两点间的轴向垂直距离。

线数为 n 的多线螺纹导程和螺距的关系为

$$L = nP \tag{7-1}$$

在单线螺纹中　$L = P$

（4）牙型角 α　过螺纹轴线的截面内，相邻两牙侧之间的夹角。其中两半角 $\alpha/2$ 在径向截面内相等。

（5）螺纹升角 φ　在中径圆柱面上，螺旋线的切线与垂直于螺纹轴线的平面

之间的夹角。也可描述为：将一导程的螺旋线在中径上的展开线与螺纹侧母线的垂直平面之间的夹角，如图 7-3 所示。因此螺纹升角 φ 可用下式计算

$$\tan\varphi = \frac{1}{\pi d_2} = \frac{nP}{\pi d_2} \tag{7-2}$$

式中　φ——螺纹升角（°）；

d_2——螺纹中径（mm）；

n——多线螺纹的线数；

P——螺距。

螺纹升角 φ 反映了螺纹在中径处的倾斜程度，它随着螺纹直径的减小而增大。所以在车削螺纹时，也应考虑在小径处螺纹的倾斜变化状况。

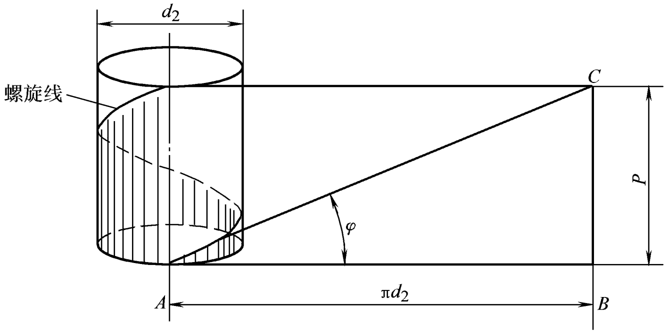


图 7-3　螺纹升角

3. 普通螺纹

普通螺纹又称米制螺纹（公制螺纹），是应用广泛的一种三角形螺纹，一般牙型角为 60°。普通螺纹分粗牙普通螺纹和细牙普通螺纹。它们直径和螺距关系都形成国标系列，其特点是公称直径相同的螺纹，螺距有粗细之分，以满足不同的使用要求。

（1）基本牙型　普通螺纹的基本牙型如图 7-4 所示。原始牙型是以螺距 P 为边的正三角形，中心点落在螺纹中径上，其原始高度为 H，在抹去上部 $H/8$ 和下部 $H/4$ 后，形成普通螺纹为等腰梯形的基本牙型。

（2）螺纹标记

1）粗牙普通螺纹代号用字母“M”及公称尺寸表示，如 M8、M16 等。其螺距可由标准查得。

2）细牙普通螺纹代号用字母“M”及公称尺寸 × 螺距表示，如 M10 ×1、M16 ×1.5 等。

3）左旋螺纹在代号末尾加注“左”字，如 M8 左。M16 ×1 左等。

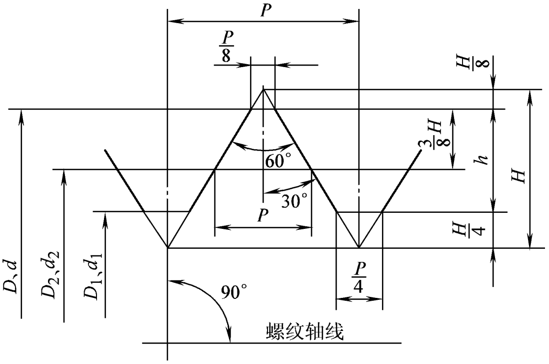


图 7-4　普通螺纹的基本牙型

（3）螺距标准　粗牙普通螺纹各公称直径相对应的螺距标准，如表 7-2 所示。

表 7-2　常用粗牙普通螺纹螺距表

公称直径/mm	2	2.5	3	4	5	6	8	10
螺距 P/mm	0.4	0.45	0.5	0.7	0.8	1	1.25	1.5
公称直径/mm	12	16	20	24	30	36	42	48
螺距 P/mm	1.75	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5

（4）基本计算

原始牙型高度为

$$H=\frac{\sqrt{3}}{2}P=0.866P \tag{7-3}$$

所以，基本牙型高度为

$$\begin{aligned}h&=H-\left(\frac{1}{8}+\frac{1}{4}\right)H=\frac{5}{8}H\\&=0.866\times\frac{5}{8}P=0.54125\text{P}\end{aligned} \tag{7-4}$$

那么，中径为

$$\begin{aligned}d_2&=d-2\times\frac{3}{8}H=d-2\times\frac{3}{8}\times0.866P\\&=d-0.6495P\end{aligned} \tag{7-5}$$

小径为

$$\begin{aligned}d_1&=d-2h=d-2\times0.54125P\\&=d-1.0825P\end{aligned} \tag{7-6}$$

同理，内螺纹各部直径为

$$D = d\text{（公称直径）}$$

$$D_2 = d_2$$

$$D_1 = d_1$$

上面的各计算式都是经过推导而来，所以，只要理清运算过程，不必死记硬背，即可将各部尺寸计算出来。

例 1： 计算 M36 粗牙螺纹的基本尺寸。

解： 查表 7-2，螺距 $P = 4\text{mm}$

根据式（7-5）

$$d_2 = d - 0.6495P = (36 - 0.6495 \times 4)\text{mm} = 33.402\text{mm}$$

根据式（7-4）

$$h = 0.54125P = 0.54125 \times 4\text{mm} = 2.165\text{mm}$$

根据式（7-6）

$$d_2 = d - 1.0825P = (36 - 1.0825 \times 4)\text{mm} = 31.67\text{mm}$$

4. 英制螺纹

英制螺纹曾是过去的计制，目前在英国等地仍有广泛的应用。在我国，只有在制造或维修进出口设备时应用。

（1）基本牙型　英制螺纹也是三角形螺纹的一种，基本牙型如图 7-5 所示。它与普通米制螺纹的区别是，牙型角 $\alpha = 55°$，基本尺寸用英寸（in）表示，螺纹的粗细程度以在 1 英寸中螺纹的牙数 n 表示，公称直径是内螺纹的大径 D，在螺纹的牙顶和牙底各有 $\frac{c'}{2}$ 和 $\frac{e'}{2}$ 的配合间隙。由于目前测量英制尺寸的量具很少，所以为便于操作，一般将英寸标注的尺寸换算成米制单位。

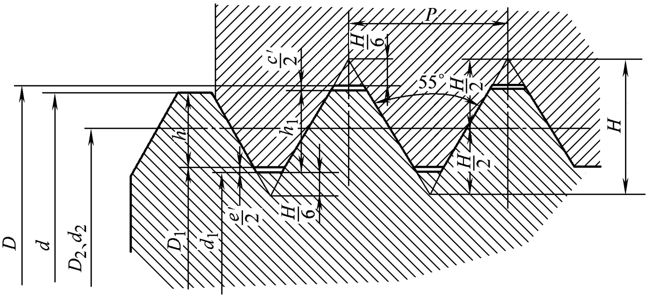


图 7-5　英制螺纹的基本牙型

英制螺纹一般用公称直径和每英寸内的牙数 n 表示，如公称直径为 3/4in，1in 内牙数为 10 的英制螺纹一般表示为

3/4in(1in 内 10 牙)

（2）螺距规定　英制螺纹各公称直径相对应的每英寸内的牙数，如表 7-3 所示。

表 7-3　常用英制螺纹每英寸内的牙数

公称直径/in	3/16	1/4	5/16	3/8	1/2	5/8	3/4	7/8	1	$1\frac{1}{8}$	$1\frac{1}{4}$
每英寸内牙数 n	24	20	18	16	12	11	10	9	8	7	7
公称直径/in	$1\frac{1}{2}$	$1\frac{3}{4}$	2	$2\frac{1}{4}$	$2\frac{1}{2}$	$2\frac{3}{4}$	3	$3\frac{1}{4}$	$3\frac{1}{2}$	$3\frac{3}{4}$	4
每英寸内牙数 n	6	5	$4\frac{1}{2}$	4	4	$3\frac{1}{2}$	$3\frac{1}{2}$	$3\frac{1}{4}$	$3\frac{1}{4}$	3	3

（3）基本计算　英制单位和米制单位的换算关系为

$$1\text{in}=25.4\text{mm} \tag{7-7}$$

所以，当在 1 英寸中螺纹的牙数为 n 时，换算成米制时螺距为

$$P=\frac{1\text{in}}{n}=\frac{25.4}{n}(\text{mm}) \tag{7-8}$$

1）求三角形原始高度 H。由于牙型角 $\alpha=55°$，牙型半角 $\alpha/2=27.5°$

$$H=\frac{P}{2}\cot\frac{\alpha}{2}=\frac{P}{2}\cot27.5°=\frac{P}{2}\times1.92098$$
$$=0.96049P \tag{7-9}$$

2）求工作高度 h。原始高度 H 的中心在螺纹中径上，分别在牙型上部和下部分别抹去$\frac{H}{6}+\frac{c'}{2}$和$\frac{H}{6}+\frac{e'}{2}$，形成等腰梯形的螺纹牙型，则工作高度为

$$h=H-2\times\frac{H}{6}-\frac{c'}{2}-\frac{e'}{2}=\frac{2}{3}H-\frac{c'+e'}{2}$$
$$=0.640339-\frac{c'+e'}{2} \tag{7-10}$$

其中

$$c'=0.075P+0.05 \tag{7-11}$$
$$e'=0.148P \tag{7-12}$$

3）求外螺纹牙型高度 h_1

$$h_1=h+\frac{e'}{2} \tag{7-13}$$

4）求螺纹中径 d_2

$$d_2=D-(h+c') \tag{7-14}$$

5）求外螺纹大径 d

$$d = d_2 + h \tag{7-15}$$

6）求外螺纹小径 d_1

$$d_1 = d - 2h_1 \tag{7-16}$$

7）求内螺纹中径 D_2

$$D_2 = d_2$$

8）求内螺纹小径 D_1

$$D_1 = d_2 - h \tag{7-17}$$

9）求螺纹升角 φ　根据式（7-2）

$$\tan\varphi = \frac{nP}{\pi d_2}$$

英制三角螺纹基本尺寸和计算公式见表 7-4。

表 7-4　英制三角螺纹基本尺寸和计算公式

名　　称		代　　号	计 算 公 式
牙型角		α	$\alpha = 55°$
每英寸牙数		n	由表 7-2 查得
螺距		P	$P = \frac{25.4}{n}$
原始三角高度		H	$H = 0.96049P$
工作高度		h	$h = 0.640339 - \frac{c' + e'}{2}$
螺纹中径		d_2	$d_2 = D - (h + c')$
螺纹升角		φ	$\tan\varphi = \frac{nP}{\pi d_2}$
外螺纹	牙顶间隙	c'	$c' = 0.075P + 0.05$
	牙型高度	h_1	$h_1 = h + \frac{e'}{2}$
	螺纹大径	d	$d = d_2 + h$
	螺纹小径	d_1	$d_1 = d - 2h_1$
内螺纹	牙底间隙	e'	$e' = 0.148P$
	螺纹大径	D/in	$D = D/\text{in} \times 25.4$（公称直径）
	螺纹小径	D_1	$D_1 = d_2 - h$

例 2：计算 3/4in 中 $n = 10$ 牙的英制螺纹各部尺寸。

解：根据式（7-8）

$$P=\frac{25.4}{n}=\frac{25.4}{10}\text{mm}=2.54\text{mm}$$

根据式（7-9）

$$H=0.96049P=0.96049\times2.54\text{mm}=2.44\text{mm}$$

根据式（7-11）和式（7-12）

$$c'=0.075P+0.05=(0.075\times2.54+0.05)\text{mm}=0.24\text{mm}$$

$$e'=0.148P=0.148\times2.54\text{mm}=0.376\text{mm}$$

根据式（7-10），工作高度

$$h=0.64033P-\frac{c'+e'}{2}$$

$$=\left(0.64033\times2.54-\frac{0.24+0.376}{2}\right)\text{mm}=1.318\text{mm}$$

根据式（7-13），外螺纹牙型高度

$$h_1=h+\frac{e'}{2}=\left(0.318+\frac{0.376}{2}\right)\text{mm}=1.506\text{mm}$$

根据式（7-14），螺纹中径

$$d_2=D-(h+c')=[25.4\times3/4-(1.318+0.24)]\text{mm}=17.492\text{mm}$$

根据式（7-15），外螺纹大径

$$d=d_2+h=(17.492+1.318)\text{mm}=18.81\text{mm}$$

根据式（7-16），外螺纹小径

$$d_1=d-2h_1=(18.81-2\times1.506)\text{mm}=15.798\text{mm}$$

根据式（7-17），内螺纹小径

$$D_1=d_2-h=(17.492-1.318)\text{mm}=16.174\text{mm}$$

根据式（7-2），螺纹升角

$$\tan\varphi=\frac{P}{\pi d_2}=\frac{2.54}{17.492\pi}=0.046$$

查表得：$\varphi=2.65°$。

在计算英制螺纹时，必须注意统一计量单位，将英制尺寸全部换算成米制尺寸，不可混用。

5. 管螺纹

管螺纹多应用于输送气体或液体的管道中的管接头、旋塞及其他附件上。根据结构形式，管螺纹可分圆锥管螺纹和圆柱管螺纹两类。现介绍常见的几种管螺纹。

（1）55°圆锥管螺纹　圆锥管螺纹的螺纹副本身具有密封性，是应用最广的管螺纹。圆锥管螺纹的基本牙型如图 7-6 所示。螺纹的母体是圆锥形，其锥度为 1∶16，圆锥半角 $\varphi=1.79°$，牙型角 $\alpha=55°$。螺距 P 由每英寸内的牙数 n 换算出。牙顶及牙底均为 r 的圆弧形。螺纹的尺寸代号是管子孔径的英寸公称直径。

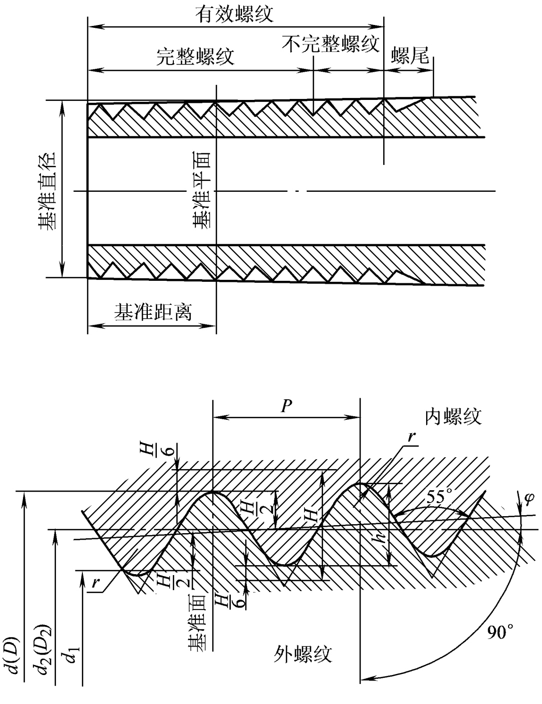


图 7-6　圆锥管螺纹的基本牙型

1）圆锥管螺纹术语

①基准直径。内螺纹或外螺纹的基本大径。

②基准平面。垂直于螺纹轴线，具有基准直径的平面，即在密封配合时，内螺纹大端面终止的最佳密封位置，简称基面。

③基准距离。从基准平面到外螺纹小端的距离，简称基距。

④有效螺纹长度。包括完整螺纹和不完整螺纹两部分。

2）基本尺寸。螺纹的基准直径即螺纹的大径（$d=D$），它不等于公称直径，可由表 7-5 查得。其他尺寸也都在基准平面内测量，如图 7-7 所示，都可以用以下计算式算出。

①螺距。由每英寸内的牙数 n 注出。各尺寸代号与每英寸内的牙数可由表 7-5 查得。换算成米制单位的螺距：

$$P=\frac{25.4}{n}\text{mm}$$

②原始三角形高度 $H=0.96024P$。

③牙型高度 $h=0.64033P$。

④中径 $D_2=d_2=D(d)-h$。

⑤小径 $D_1=d_1=D(d)-2h$。

⑥圆弧半径 $r=0.13733P$。

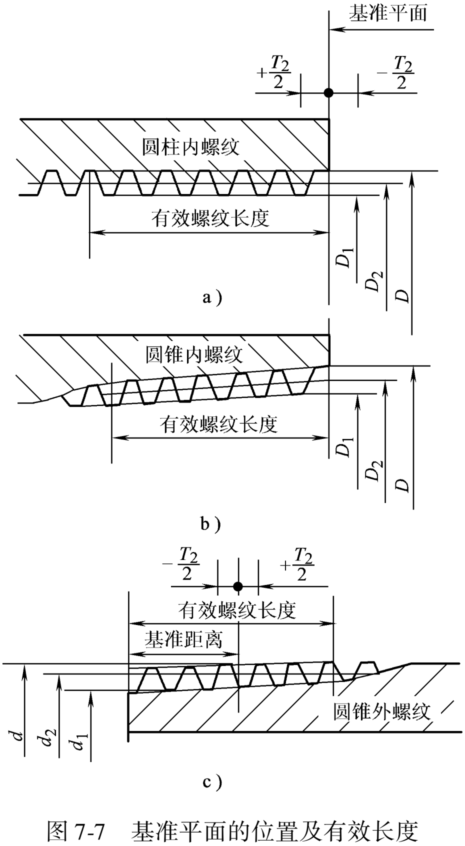


图 7-7　基准平面的位置及有效长度

表 7-5　用螺纹密封的管螺纹基本尺寸

尺寸代号	每 25.4mm 内的牙数	螺距 P/mm	牙型高度 h / mm	圆弧半径 r /mm	基面上的基本直径			基准距离 /mm	有效螺纹长度 /mm
					大径(基准直径) $d=D$ /mm	中径 $d_2=D_2$ /mm	小径 $d_1=D_1$ /mm		
1/16	28	0.907	0.581	0.125	7.723	7.142	6.561	4.0	6.5
1/8	28	0.907	0.581	0.125	9.728	9.147	8.566	4.0	6.5
1/4	19	1.337	0.856	0.184	13.157	12.301	11.445	6.0	9.7
3/8	19	1.337	0.856	0.184	16.662	15.806	14.950	6.4	10.1
1/2	14	1.814	1.162	0.249	20.995	19.793	18.631	8.2	13.2
3/4	14	1.814	1.162	0.249	26.441	25.279	24.117	9.5	14.5
1	11	2.309	1.479	0.317	33.249	31.770	20.291	10.4	16.8
$1\frac{1}{4}$	11	2.309	1.479	0.317	41.910	40.431	38.952	12.7	19.1
$1\frac{1}{2}$	11	2.309	1.479	0.317	47.803	46.324	44.845	12.7	19.1
2	11	2.309	1.479	0.317	59.614	58.135	56.656	15.9	23.4
$2\frac{1}{2}$	11	2.309	1.479	0.317	75.184	73.705	72.226	17.5	26.7
3	11	2.309	1.479	0.317	87.884	86.405	84.926	20.6	29.8
$3\frac{1}{2}$	11	2.309	1.479	0.317	100.330	98.851	97.372	22.2	31.4
4	11	2.309	1.479	0.317	113.030	111.551	110.072	25.4	35.8
5	11	2.309	1.479	0.317	138.430	136.951	135.472	28.6	40.1
6	11	2.309	1.479	0.317	163.830	162.351	160.872	28.6	40.1

3）螺纹标记。55°圆锥管螺纹的标记是在尺寸代号的前面加注螺纹特征代号。尺寸代号用管子孔径的英寸公称直径表示，螺纹特征代号分 R_c、R、R_p，其标记示例为

R_c——圆锥内螺纹，$R_c5/8$；

R——圆锥外螺纹，R5/8；

R_p——圆柱内螺纹，$R_p5/8$。

当螺纹为左旋时，尺寸代号后加注“LH”，如 R $\frac{1}{2}$ —LH。

当内、外螺纹相互配合时，内外螺纹的标记用斜线分开，左边表示内螺纹，

右边表示外螺纹。如：

圆锥内螺纹与圆锥外螺纹配合：$R_c5/8$ / R5/8；

圆柱内螺纹与圆锥外螺纹配合：$R_p5/8$ / R5/8。

例 3：螺纹代号为 R2 1/2 的圆锥外螺纹，1″=11 牙，试计算各部尺寸。

解：$P=\frac{25.4}{n}=\frac{25.4}{11}\text{mm}=2.309\text{mm}$

$H=0.96024P=0.96024\times2.309\text{mm}=2.217\text{mm}$

$h=0.64033P=0.64033\times2.309\text{mm}=1.479\text{mm}$

查表 7-5 得：$d=75.184\text{mm}$

$d_2=d-h=(75.184-1.479)\text{mm}=73.705\text{mm}$

$d_1=d-2h=(75.184-2\times1.479)\text{mm}=72.226\text{mm}$

$r=0.13733P=0.13733\times2.309\text{mm}=0.317\text{mm}$

（2）55°圆柱管螺纹　圆柱管螺纹的母体形状是圆柱形，螺纹副本身不具有密封性，必要时可在密封面添加密封物后压紧，也可具有密封作用。

1）螺纹的基本牙型。55°圆柱管螺纹的基本牙型如图 7-8 所示。牙型角 $\alpha=55°$，螺距 P 以 1in（25.4mm）内的牙数确定。牙顶和牙底均为 r 的圆弧形。螺纹的尺寸代号也是指管子孔径的英寸公称直径。

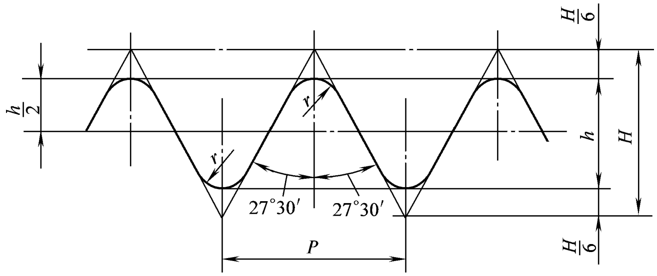


图 7-8　圆柱螺纹的基本牙型

2）螺纹标记。55°圆柱管螺纹的标记由螺纹特征代号和尺寸代号组成。螺纹特征代号用字母 G 表示；螺纹的尺寸代号是指管子孔径的英寸公称直径表示。如 G3/4（19.05mm）、G1 1/2（38.1mm）等。

当螺纹为左旋时，在标记的末尾加注“LH”，如 G3/4(19.05mm)－LH 等

3）基本尺寸。55 °圆柱管螺纹的公称直径，也是指管子的英寸孔径，所以公称直径并不是螺纹大径，螺纹大径可查阅表 7-5，其他基本尺寸用以下算式算出：

①螺距 P。由每英寸内的牙数 n 注出，各尺寸代号相对应的牙数 n 与圆锥管螺纹相同，也可由表 7-5 查得。换算成米制单位的螺距

$$P=\frac{25.4}{n}$$

②原始三角形高度：$H=0.96049P$。

③牙型高度：$h=0.64033P$。

④中径：$D_2=d_2=D(d)-h$。

⑤小径：$D_1=d_1=D(d)-2h$。

⑥圆弧半径：$r=0.13733P$。

例 4：尺寸代号为 3/4 的 55°圆柱管螺纹（外螺纹），求各部尺寸。

解：由表 7-5 查得

每 in 牙数 $n=14$，螺纹大径 $d=26.441\text{mm}$

$$P=\frac{25.4}{n}=\frac{25.4}{14}\text{mm}=1.814\text{mm}$$

$$H=0.96049P=0.96049\times1.814\text{mm}=1.742\text{mm}$$

$$h=0.64033P=0.64033\times1.814\text{mm}=1.162\text{mm}$$

$$d_2=d-h=(26.441-1.162)\text{mm}=25.279\text{mm}$$

$$d_1=d-2h=(26.441-2\times1.162)\text{mm}=24.117\text{mm}$$

$$r=0.13733P=0.13733\times1.814\text{mm}=0.249\text{mm}$$

6. 梯形螺纹

梯形螺纹多用于传递动力或改变运动状态，如通过丝杆的梯形螺纹将旋转运动改变成滑板的直线运动，并将旋转动力传递给刀架的移动等。

梯形螺纹有米制和英制两种，牙型角分别为 30°和 29°。由于英制梯形螺纹在我国目前应用较少，现只介绍 30°牙型角的米制梯形螺纹。

（1）基本牙型　30°梯形螺纹的基本牙型如图 7-9 所示，公称直径为外螺纹的大径。它的代号用字母“Tr”和公称直径 × 螺距表示，单位均为 mm。左旋螺纹应在代号之后加注“LH”，如：Tr36 ×6、Tr24 ×5LH 等。

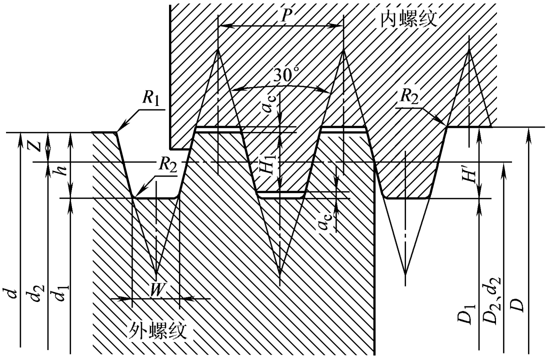


图 7-9　梯形螺纹牙型

（2）基本计算　30°梯形螺纹的各部分名称、代号和计算公式见表 7-6。

表 7-6　梯形螺纹的各部名称、代号和计算公式　　（单位：mm）

<table>
<tr><th colspan="2">名　称</th><th>代　号</th><th colspan="4">计 算 公 式</th></tr>
<tr><td colspan="2">牙型角</td><td>α</td><td colspan="4">$\alpha=30°$</td></tr>
<tr><td colspan="2">螺距</td><td>P</td><td colspan="4">由设计决定</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">间隙</td><td rowspan="2">a_c</td><td>P</td><td>1.5～5</td><td>6～12</td><td>14～44</td></tr>
<tr><td>a_c</td><td>0.25</td><td>0.5</td><td>1</td></tr>
<tr><td colspan="2">牙型高度</td><td>h、H'</td><td colspan="4">$h=H'=0.5P+a_c$</td></tr>
<tr><td colspan="2">牙槽底宽</td><td>W</td><td colspan="4">$W=0.366P-0.536a_c$</td></tr>
<tr><td colspan="2">螺纹升角</td><td>φ</td><td colspan="4">$\tan\varphi=\frac{P}{\pi d_2}$</td></tr>
<tr><td rowspan="3">外螺纹</td><td>大径</td><td>d</td><td colspan="4">d＝公称直径</td></tr>
<tr><td>中径</td><td>d_2</td><td colspan="4">$d_2=d-0.5P$</td></tr>
<tr><td>小径</td><td>d_1</td><td colspan="4">$d_1=d-2h$</td></tr>
<tr><td rowspan="3">内螺纹</td><td>大径</td><td>D</td><td colspan="4">$D=d+2a_c$</td></tr>
<tr><td>中径</td><td>D_2</td><td colspan="4">$D_2=d_2$</td></tr>
<tr><td>小径</td><td>D_1</td><td colspan="4">$D_1=d-P$</td></tr>
</table>

例 5：计算 Tr24×5 内、外螺纹的基本尺寸。

解：已知 $d=24\text{mm}$，$P=5\text{mm}$

根据表 7-6

$$a_c=0.25\text{mm}$$

$$h=H=0.5P+a_c=(0.5\times5+0.25)\text{mm}=2.75\text{mm}$$

$$d_2=D_2=d-0.5P=(24-0.5\times5)\text{mm}=21.5\text{mm}$$

$$d_1=d-2h=(24-2\times2.75)\text{mm}=18.5\text{mm}$$

$$D=d+2a_c=(24+2\times0.25)\text{mm}=24.5\text{mm}$$

$$D_1=d-P=(24-5)\text{mm}=19\text{mm}$$

$$W=0.3669-0.536a_c=(0.366\times5-0.536\times0.25)\text{mm}=1.696\text{mm}$$

$$\tan\varphi=\frac{P}{\pi d_2}=\frac{5}{24\pi}=0.066\qquad\varphi=3.79°$$

其中 $W=1.699\text{mm}$ 为梯形螺纹车刀的刀尖宽度。

7. 矩形螺纹

矩形螺纹俗称方牙螺纹，主要用于传递有压力载荷的机构，如摩擦压力或台虎钳等具有施压作用的传动丝杠。

（1）基本牙型　矩形螺纹的基本牙型如图 7-10 所示，由于矩形螺纹的理论牙型呈正方形，所以又称为方牙螺纹。它是一种非标准螺纹，公称直径是外螺纹的直径 d，它的标记方法是直接用矩形和公称直径 × 螺距表示，如矩形 40mm ×6mm 等。

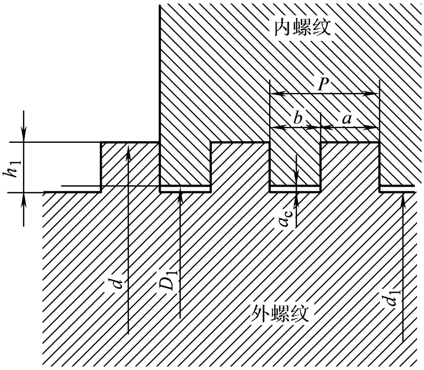


图 7-10　矩形螺纹的基本牙型

（2）基本计算　矩形螺纹各部名称、代号和计算公式见表 7-7。

表 7-7　矩形螺纹各部尺寸、代号和计算公式

名　　称		代　　号	计算公式
外径		D	由设计决定
螺距		P	由设计决定
间隙		a_c	$a_c = 0.1 \sim 0.2$
外螺纹	槽宽	b	$b = 0.5P + (0.02 \sim 0.04)$
	牙宽	a	$a = P - b$
	小径	d_1	$d_1 = d - 2h_1$
	牙型高度	h_1	$h_1 = 0.5P + a_c$
内螺纹小径		D_1	$D_1 = d - P$

例 6： 计算矩形 30mm ×6mm 丝杠的各部尺寸。

解： 已知螺纹的公称直径 $d = 30\text{mm}$，螺距 $P = 6\text{mm}$，根据表 7-7

$h_1 = 0.5P + a_c = (0.5 \times 6 + 0.15)\text{mm} = 3.15\text{mm}$（取 $a_c = 0.15\text{mm}$）

$d_1 = d - 2h_1 = (30 - 2 \times 3.15)\text{mm} = 23.7\text{mm}$

$b = 0.5P + 0.03 = (0.5 \times 6 + 0.03)\text{mm} = 3.03\text{mm}$

$a = P - b = (6 - 3.03)\text{mm} = 2.97\text{mm}$

8. 锯齿形螺纹

锯齿形螺纹主要用于有单边压力荷载的机构，如锯床夹料的螺纹丝杠等。

（1）基本牙型　锯齿形螺纹的基本牙型如图 7-11 所示，两侧的牙型角分别

为 3°和 30°，整体呈一边倒的锯齿状，公称直径为 d、D。

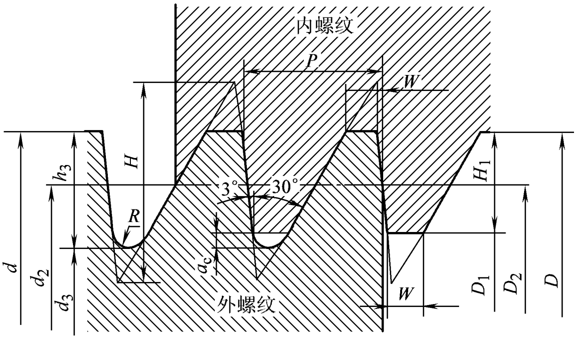


图 7-11　锯齿形螺纹的基本牙型

（2）基本计算　锯齿形螺纹各部名称、代号和计算公式见表 7-8。

表 7-8　锯齿形螺纹各部名称、代号和计算公式

名　　称	代　　号	计算公式
牙型角	α	$\alpha = 33°$
螺距	P	由设计确定
内、外螺纹大径 公称直径	d、D	由设计确定
原始三角形高度	H	$H = 1.5878P$
牙顶间隙	a_c	$a_c = 0.1178P$
牙顶(牙底)宽度	W	$W = 0.2638P$
基本牙型高度	H_1	$H_1 = 0.75P$
外螺纹牙高	h_3	$h_3 = H_1 + a_c = 0.8678P$
内螺纹小径	D_1	$D_1 = d - 2H_1 = d - 1.5P$
外螺纹小径	d_3	$d_3 = d - 2h_3 = d - 1.7355P$
内、外螺纹中径	D_2、D_2	$D_2 = d_2 = d - H_1 = d - 0.75P$
牙底圆角	R	$R = 0.1243P$

例 7： 计算公称直径为 36mm，螺距为 6mm 的锯齿形螺纹的各部尺寸。

解： 已知 $D = d = 36\text{mm}$，$P = 6\text{mm}$，则

$H = 1.5878P = 1.5878 \times 6\text{mm} = 9.523\text{mm}$

$a_c = 0.1178P = 0.1178 \times 6\text{mm} = 0.707\text{mm}$

$H_1 = 0.75P = 0.75 \times 6\text{mm} = 4.5\text{mm}$

$h_3 = H_1 + a_c = (4.5 + 0.707)\text{mm} = 5.207\text{mm}$

$d_2 = D_2 = d - H_1 = (36 - 4.5)\text{mm} = 31.5\text{mm}$

$d_3 = d - 2h_3 = (36 - 2 \times 5.207)\text{mm} = 25.586\text{mm}$

$D_1 = d - 2H_1 = (36 - 2 \times 4.5)\text{mm} = 27\text{mm}$

$W = 0.26384P = 0.26384 \times 6\text{mm} = 1.583\text{mm}$

$R = 0.1243P = 0.1243 \times 6\text{mm} = 0.746\text{mm}$

7.2　螺纹车刀

正确刃磨螺纹车刀是保证螺纹牙型精度的前提。螺纹车刀是成形车刀，但与普通成形车刀又有不同的结构特点。

7.2.1　螺纹车刀的特殊性

根据螺纹的结构特点，螺纹车刀的几何参数也会受到影响。在车削螺纹时，因受螺旋线螺纹升角 φ 的影响，切削平面和基面的位置都发生变化，使车刀前角和后角的工作角度与刃磨后的标注角度（静止状态角度）发生变化，其变化程度随着螺纹升角 φ 的增大而增大。所以在刃磨或安装螺纹车刀时，必须考虑这些因素的影响。这些影响主要表现在以下几个方面：

1. 螺纹升角对车刀两侧后角的影响

螺纹升角 φ 对螺纹车刀两侧后角的影响比较明显。在车削右旋螺纹时，两侧后角的变化如图 7-12 所示。车刀左侧的刃磨后角 $\alpha_0 L$ 应等于静止状态的合理后角 α_0 加上螺纹升角 φ；车刀右侧的刃磨后角 $\alpha_0 R$ 应等于静止状态的合理后角 α_0 减上螺纹升角，即

$$\alpha_0 L = \alpha_0 + \varphi$$

$$\alpha_0 R = \alpha_0 - \varphi \qquad (7\text{-}18)$$

当螺纹升角 φ 较大时，$\alpha_0 R$ 的角度可能为负值。

对于左旋螺纹，则情况相反。

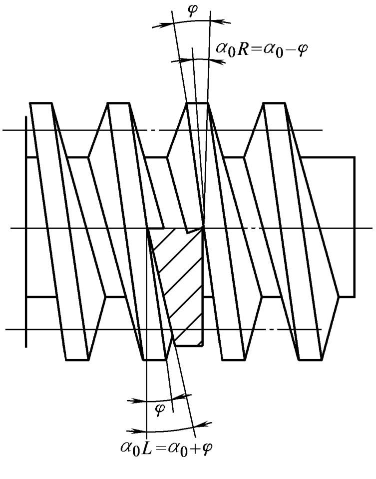


图 7-12　螺纹升角对车刀两侧后角的影响

例 8：车削 Tr36×10 的梯形螺纹，求车刀两侧后角刃磨的角度。

解：根据表 7-5 查得

$$d_2 = d - 0.5P = (36 - 0.5 \times 10)\text{mm} = 31\text{mm}$$

螺纹升角

$$\tan\varphi=\frac{P}{\pi d_2}=\frac{6}{31\pi}=0.062$$

查得　$\varphi=3.53°$

根据式（7-18），取 $\alpha_0=3.5°$

$$\alpha_0 L=\alpha_0+\varphi=3.5°+3.53°=7.03°$$

$$\alpha_0 R=\alpha_0-\varphi=3.5°-3.53°=-0.03°$$

2. 螺纹升角对车刀两侧前角的影响

受螺纹升角影响，车刀两侧的工作前角与刃磨前角 γ_0 均发生显著变化，如图 7-13 所示。从图 7-13a 看出，如果车刀两侧的刃磨前角均为 0°，在车右旋螺纹时，右侧刃的工作前角为负值，使切削刃钝化，增大切削力和切削热，导致切削不畅，排屑也很困难。为了改善这种状况，可采用图 7-13b 所示的方法，在右侧切削刃磨出带有正前角的卷屑槽。这种方法多在车削精度较高的螺纹时采用。

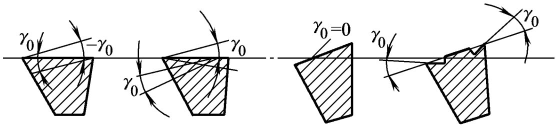


图 7-13　螺纹升角对车刀两侧前角的影响

当车削精度要求不高的大型螺纹时，为使刀具受力均衡、排屑顺畅，往往采用主切削刃与螺纹升角 φ 相垂直的法向切削。如图 7-13c 所示。它使两侧的工作前角均为 0°。为使切削刃锋利，往往在前面上沿两切削刃处平行磨出带有正前角的卷屑槽，如图 7-13d 所示。

采用法向切削时，即便是刀尖角刃磨正确，切削刃口的直线度也符合标准，车出的螺纹牙型在切削刃方向上的牙型虽然是一条与刃口相同的直线，但在螺纹侧母线上却呈凹曲线状态，达不到牙型的技术要求。这是由于不同直径上螺纹升角不同，引起法向螺距 P_n 的不同。因此，在必要时应对两条切削刃修正成凸曲线状态。

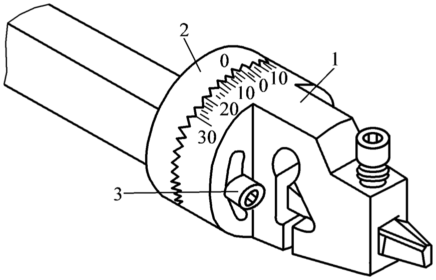


图 7-14　弹性刀杆

1—头部　2—刀杆　3—紧固螺钉

在精车螺纹时，可使用图 7-14 所示的弹性刀杆，它开有弹性槽，切削时可避免产生“扎刀”现象。同时螺纹刀头装夹后，可相对于刀杆回转所需要的螺纹升角，使用方便。

3. 螺纹车刀径向前角对螺纹牙型角的影响

由于螺纹车刀是成形车刀，所以，当螺纹车刀的前刀面处于水平状态下，径向前角 $\gamma_p=0°$时，螺纹车刀的刀尖角 ε_r 应等于螺纹的牙型角 α，才能车出理想的螺纹牙型，这是车削精密螺纹的必然方法。

在车削一般螺纹时，为了使切削顺畅，减小螺纹的表面粗糙度值，高速钢螺纹车刀往往采用5°～15°的径向前角。这时两侧切削刃不在螺纹侧母线上，车出的螺纹牙侧也不是直线而是曲线，这种形状误差对牙型角 α 的影响很大。

如图 7-15 所示的三角形螺纹车刀，实际径向前角为 γ_P。等腰三角形 ABC 是当 $\gamma_P=0°$时的前面，等腰三角形 $A'B'C'$是当 $\gamma_P>0$ 时的前面，其中 AD 和 AD'分别为两等腰三角形的高，$\angle BAC=\varepsilon_r$，$\angle B'A'C'=\varepsilon_r'$，$BC=B'C'=P$。由于两等腰三角形底边相等，而 $AD'>AD$，所以 $\varepsilon_r'<\varepsilon_r$。

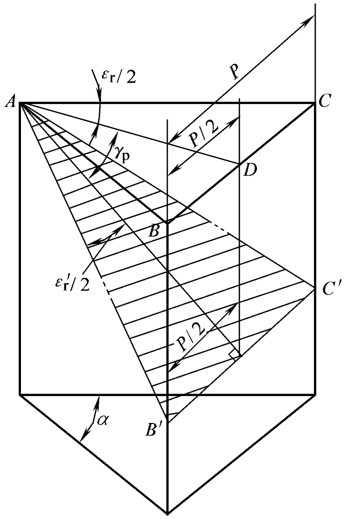


图 7-15　三角形螺纹车刀刀尖角的修正计算

在△$B'AC'$中

$$\tan\frac{\varepsilon_r'}{2}=\frac{\frac{P}{2}}{AD'} \tag{7-19}$$

在直角三角形 $AD'D$ 中

$$AD'=\frac{AD}{\cos\gamma_P} \tag{7-20}$$

在直角三角形 ABD 中

$$AD=\frac{\frac{P}{2}}{\tan\frac{\varepsilon_r}{2}}=\frac{P}{2\tan\frac{\varepsilon_r}{2}} \tag{7-21}$$

将式（7-21）代入式（7-20）

$$AD'=\frac{AD}{\cos\gamma_P}=\frac{\frac{P}{2\tan\frac{\varepsilon_r}{2}}}{\cos\gamma_P}=\frac{\frac{P}{2}}{\tan\frac{\varepsilon_r}{2}\cos\gamma_P} \tag{7-22}$$

将式（7-22）代入式（7-19）

$$\tan\frac{\varepsilon_r'}{2}=\frac{\frac{P}{2}}{AD'}=\frac{\frac{P}{2}}{\frac{\frac{P}{2}}{\tan\frac{\varepsilon_r}{2}\cos\gamma_P}}=\tan\frac{\varepsilon_r}{2}\cos\gamma_P \qquad (7\text{-}23)$$

式中　ε_r'——径向前角 $\gamma_P>0$ 时应刃磨的刀尖角（°）；

ε_r——径向前角 $\gamma_P=0$ 时的刀尖角。(°)$\varepsilon_r=\alpha$；

α——螺纹牙型角（°）；

γ_P——螺纹车刀的实际径向前角（°）。

所以，当螺纹车刀的径向前角 $\gamma_P>0$ 时，应通过计算，按修正后的刀尖角度刃磨。

例 9：车削 60°的三角形螺纹，螺纹车刀磨有 $\gamma_P=12°$的径向前角，试求修正后的刀尖角应刃磨的角度。

解：已知　$\varepsilon_r=\alpha=60°$，$\gamma_P=12°$

根据式（7-19）

$$\tan\frac{\varepsilon_r'}{2}=\tan\frac{\varepsilon_r}{2}\cos\gamma_P$$

$$=\tan30°\cos12°$$

$$=0.5647$$

查表得　$\frac{\varepsilon_r'}{2}=29.46°$　$\varepsilon_r'=58.92°$。

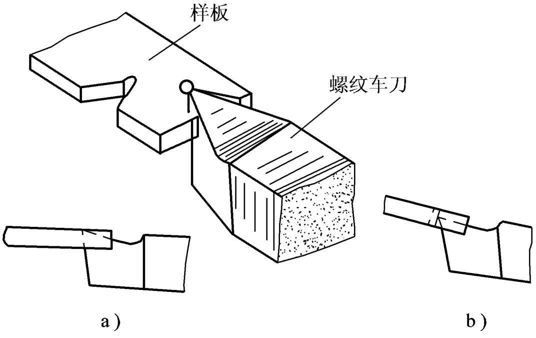


图 7-16　用较厚样板测量修正刀尖角

a）正确测量　b）错误测量

在实践中，往往采用透光的方法，检测有径向前角的刀尖角。即将带有径向前角的刀尖角，放置在与刀体呈平行状态的螺杆样板中，在相背光线照射下，从投影的密封状况粗略地检测刀尖角的正确性，如图 7-16 所示。

7.2.2　典型螺纹车刀与刃磨

由于螺纹车刀属于成形车刀，为保证螺纹的精度，必须正确刃磨和装夹螺纹车刀。

1. 螺纹车刀的刃磨

刃磨螺纹车刀也分粗磨、精磨和用磨石鐾刀过程。其刃磨步骤一般是：先磨

前面与刀体底面平行，需要时刃磨径向前角和卷屑槽，再分别刃磨左侧后面和右侧后面，在保证牙型半角的同时，根据螺旋升角的方向和大小，刃磨两侧后角，在检测刀尖角后，刃磨刀尖圆弧。最后用磨石研磨切削刃各部。

螺纹车刀的刃磨要求是：

1）螺纹粗车刀允许有 5°～10°的径向前角，精车刀的径向前角一般应等于 0°。

2）在径向前角 $\gamma_P = 0°$时，车刀的刀尖角一定要等于螺纹的牙型角，即 $\varepsilon_r = \alpha$。当径向前角 $\gamma_P > 0°$时，应按计算后的修正后的刀尖角度刃磨。

3）一般情况下，螺纹车刀两侧刃应呈直线状态，只有当采用法向切削或径向前角 $\gamma_P > 0°$，车削精度较高的螺纹时，则将直线切削刃修正呈凸曲线形式。

4）车刀两侧面的静止后角应随着螺纹升角 φ 的方向和大小偏移，使进给方向的后角增加一个螺纹升角，相背方向的后角减小一个螺纹升角。

5）内螺纹车刀的刀尖平分线应与刀杆垂直，切削刃也应磨出双重后角。刀尖至刀杆后侧面的宽度应小于螺纹小径，以便于退刀。

6）刃磨螺纹车刀时，用力应轻而稳。刃磨高速钢车刀应及时浸水冷却，以防止刀尖过热退火；刃磨硬质合金车刀，则应自然冷却后再磨，不能浸入水中，以防炸裂。

2. 典型螺纹车刀

（1）三角形螺纹车刀　一般可分粗车刀、精车刀以及高速钢和硬质合金车刀等。

1）高速钢三角形外螺纹车刀的几何形状如图 7-17 所示。它的切削刃锋利，韧性较好，能承受较大的冲击，获得较低的表面粗糙度值。但它的耐热性较差，所以常用作低速切削或螺纹的精加工。

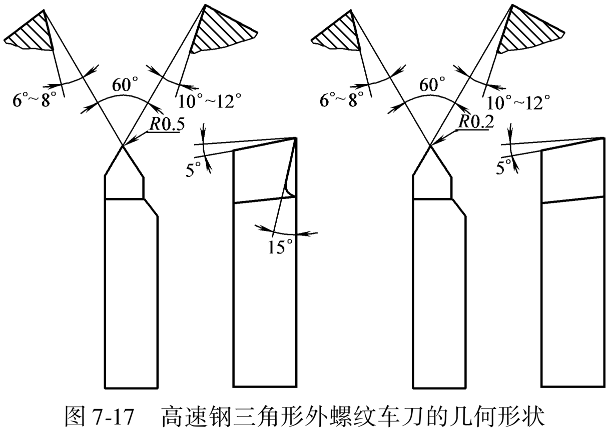


图 7-17　高速钢三角形外螺纹车刀的几何形状

为切削顺利，在粗车塑性材料的螺纹时，应选用 $\gamma_P = 15°$的径向前角，但不应过大，以防止产生“扎刀”现象。

在车削脆性材料或精车塑性材料的螺纹时，应选用 $\gamma_P = 0°$的径向前角，两侧刃之间的夹角应等于牙型角。

2）硬质合金三角形螺纹车刀的几何形状如图 7-18 所示。它具有硬度高、耐磨性好、耐高温等特点。但抗冲击能力较差，在车削螺距较大或材料硬度较高的螺纹时，往往在两个主切削刃上磨出宽度为 0.2 ~ 0.4mm、γ_{01} 为 −5°的负倒棱。由于在高速切削螺纹时产生挤压现象，使实际牙型角胀大，因此，在刃磨刀尖角时，一般应比螺纹的牙型角减小 0.5°左右。

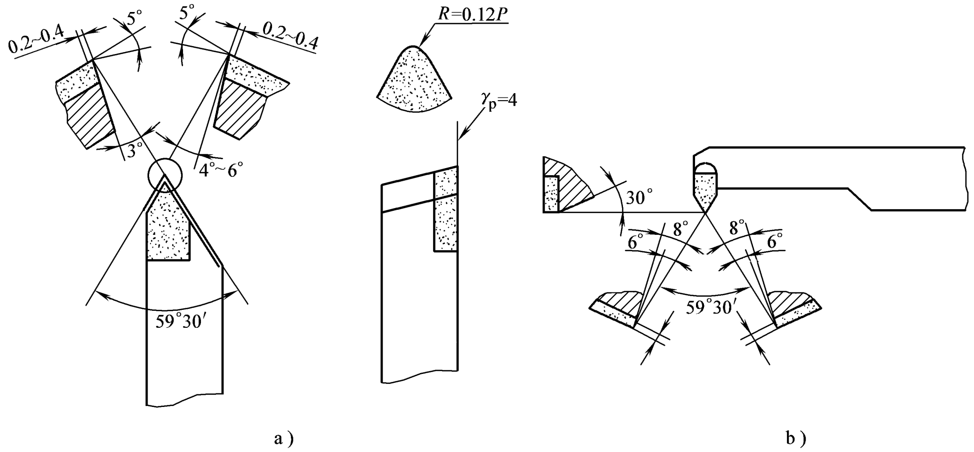


图 7-18　硬质合金三角形螺纹车刀的几何形状

内螺纹车刀应尽量加大刀杆的横截面积，以保证退刀的空间即可，其刀杆长度尽量地短。同时切削刃部应光洁锋利，以弥补刀杆的刚性强度的不足。

（2）梯形螺纹车刀　在车削梯形螺纹时，由于径向切削力较大，一般分别采用粗车刀和精车刀分别进行粗、精加工，刀具材料也根据加工性质选用高速钢或硬质合金制成。

1）高速钢梯形螺纹车刀分粗车刀和精车刀，几何形状如图 7-19 所示。图 7-19a 为粗车刀的几何形状。为给精车留有足够的加工余量，粗车刀的刀尖角应比螺纹的牙型角小 0.5°左右，为便于排屑，在车削塑性材料的螺纹时，应采用 10° ~15°的径向前角。

粗车刀的刀头宽度 W 一般应等于或略小于螺纹的牙槽底宽。

图 7-19b 是典型梯形螺纹精车刀。为保证梯形螺纹的牙型精度，切削刃的径向前角 $\gamma_P = 0°$，与基面 P_r 平行，两切削刃的刀尖角严格等于牙型角。为提高牙型的表面质量，使切削顺畅，车刀两切削刃都根据螺纹升角的方向和大小磨有不同前角的卷屑槽。

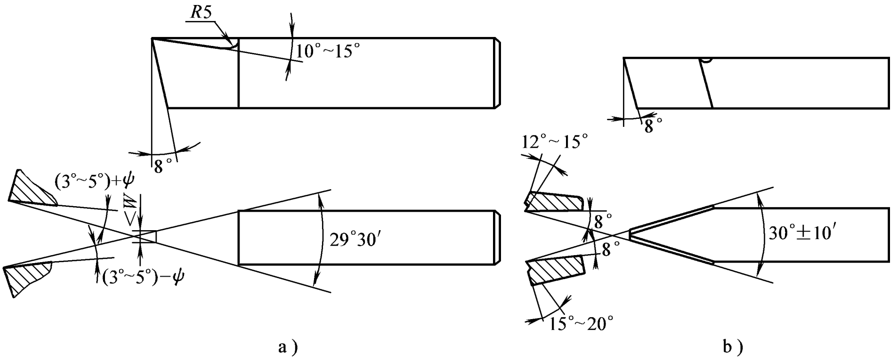


图 7-19　高速钢梯形螺纹车刀的几何形状

a）粗车刀　b）精车刀

根据精车刀的几何特点，车刀前端的切削刃不能参与切削，牙槽底部依靠两侧的切削刃修整。

从表 7-5 查得，梯形螺纹的牙槽底宽 $W=0.366P-0.536a_c$。在生产实践中，习惯上总是加大配合间隙 a_c，使牙型高度深些，即使实际牙槽底宽小于计算出的牙槽底宽。所以，为简化计算，往往将刀头宽度 W 按螺距 P 的 3/10 选取，即

$$W=\frac{3}{10}P \qquad (7\text{-}24)$$

（3）矩形螺纹车刀　矩形螺纹车刀与切槽刀相似，只是受螺纹升角的影响，矩形螺纹车刀两侧后角不相等。车削螺距较大的矩形螺纹，一般采用先粗车留有余量，再精车的加工方法。矩形螺纹精车刀的几何形状如图 7-20 所示。

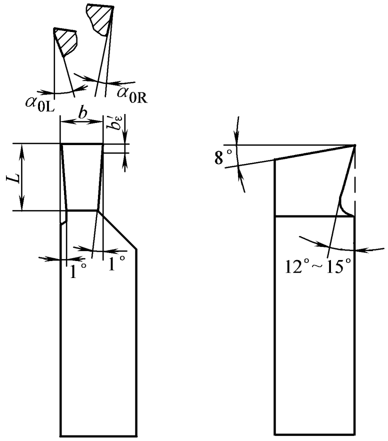


图 7-20　矩形螺纹精车刀的几何形状

刃磨矩形螺纹精车刀应注意以下几点：

1）应保证精车刀刀头宽度 b 的精度要求，才能保证牙型的精度要求，一般其宽度 $b=0.5P+(0.02\sim0.04)\text{mm}$。

2）刀头长度 L 不宜过长，一般取 $L=0.5P+(2\sim4)\text{mm}$，以保证切削刃有足够的强度。

3）进给方向一侧和相背一侧的后角，应在正常后角 α_0 加上或减去一个螺旋升角 φ，即 $\alpha_{0L}=\alpha_0+\varphi$ 或 $\alpha_{0L}=\alpha_0-\varphi$。

4）为了减小螺纹牙侧的表面粗糙度值，在两侧切削刃上应磨有 $b_{\varepsilon'}=0.3\sim0.5\text{mm}$ 的修光刃。

7.3 三角形螺纹的切削

7.3.1 车螺纹前的准备工作

车螺纹前的准备工作主要包括以下内容：

1. 车床调整

1）根据螺纹导程调整进给箱交换齿轮的手柄位置，没有进给箱的旧式车床则应计算和组装相应的交换齿轮。

2）调整主轴转速，车螺纹的转速一般在 200～300r/min 范围内。

3）调整中、小滑板的间隙，松紧适当，手柄摇动自如。如调整太紧，操作不灵活，太松容易产生“扎刀”现象。

4）小滑板应调至与导轨齐平或稍微探出，以防止小滑板与卡盘相撞。

5）检查并调整开合螺母与丝杠啮合到位，并开合轻便、灵活，以防止车螺纹时产生乱牙现象。

6）检查卡盘的保险装置应与主轴牢固连接，以防在正、反车时甩出卡盘。

7）调整正反转摩擦离合器，使操纵手柄运行快捷、准确。

2. 螺纹车刀的装夹

刃磨正确的螺纹车刀，如果装夹不正确，也会产生牙型精度误差。装夹螺纹车刀的要点是：

1）螺纹车刀刀尖的装夹高度一般应与工件的轴线等高。为防止“扎刀”，在用硬质合金车刀高速切削时，刀尖可略高一些；而用高速钢车刀低速切削时，刀尖可略低一些。

2）螺纹车刀刀尖角的对称中心线必须与工件轴线严格垂直找正。找正的常用方法如图 7-21 所示。将对刀样板水平紧贴在工件侧面或端面的轴线位置上，刀尖角对准相应的角度内，透光检查密封后，夹紧车刀。

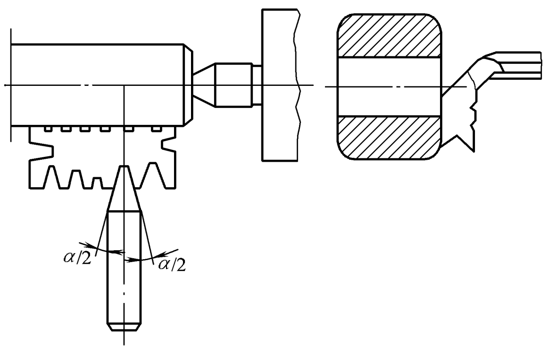


图 7-21　外螺纹车刀对刀方法

3）车刀底面垫片应平整牢固，车刀伸出长度适当，一

般不超过外圆螺纹车刀刀杆厚度的 1.5 倍。

3. 交换齿轮计算

在车削螺纹时，一般只要在进给箱铭牌上找出与螺纹导程相对应的数值，正确调整交换手柄的位置，即可车削出所需要的螺纹导程。但是在车削铭牌上没有的非标准螺距的螺纹，或在无进给箱的旧式车床上车削螺纹时，都必须先计算交换齿轮的数值，再按要求进行组装。

（1）传动比概念　在车削螺纹的传动中，丝杠转速与工件转速之比称为传动比，或称速比。传动比是通过齿轮间齿数的变化实现的。如 A、B 两齿轮啮合，主动齿轮 A 齿数 $Z_A=40$，转速 $n_A=600\text{r/min}$，被动齿轮 B 齿数 $Z_B=60$，齿轮 B 的转速 n_B 是多少呢？由于在相同时间内，它们转动的齿数相等，所以

$$n_B Z_B = n_A Z_A$$

$$\frac{n_B}{n_A} = \frac{Z_A}{Z_B} \tag{7-25}$$

即：齿轮转速与齿轮的齿数成反比，则齿轮 B 与齿轮 A 的传动比 i 为

$$i = \frac{n_B}{n_A} = \frac{Z_A}{Z_B} \tag{7-26}$$

式中　i——齿轮 B 与齿轮 A 的传动比；

n_B——单位时间齿轮 B 的转速（r/min）；

n_A——单位时间齿轮 A 的转速（r/min）；

Z_A——齿轮 A 的齿数；

Z_B——齿轮 B 的齿数。

这是齿轮传动的基本规律。

（2）无进给箱车床交换齿轮的计算　在用无进给箱车削螺纹时，传动过程如图 7-22 所示。具体传递路线是：主轴→三星齿轮→交换齿轮→丝杠→开合螺母→床鞍→刀架（车刀）。其中，三星齿轮与主轴同步运转，不改变传动比，通过操纵换向手柄改变丝杠旋转方向，分别车削右、左旋螺纹。通过计算和组装交换齿轮可改变传动比，其实质是调整丝杠的转速。

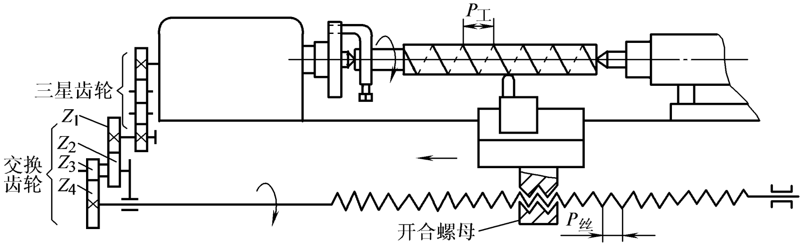


图 7-22　车削螺纹传动过程示意图

交换齿轮分单式轮系和复试轮系，如图 7-23 所示。有时只需一对齿轮即可满足传动比的称为单式轮系，即 $i=\frac{Z_1}{Z_4}$。为了传动需要，在 Z_1 和 Z_4 之间需增加一个中间轮过渡，它只起两轮的连接作用，其齿数大小对传动比没有影响，所以俗称介轮或惰轮，如图 7-23a 所示。当单式轮系无法满足传动比时，则需用两对齿轮搭配才能获得正确传动比的称为复式轮系，即 $i=\frac{Z_1}{Z_2}\times\frac{Z_3}{Z_4}$，如图 7-23b 所示。

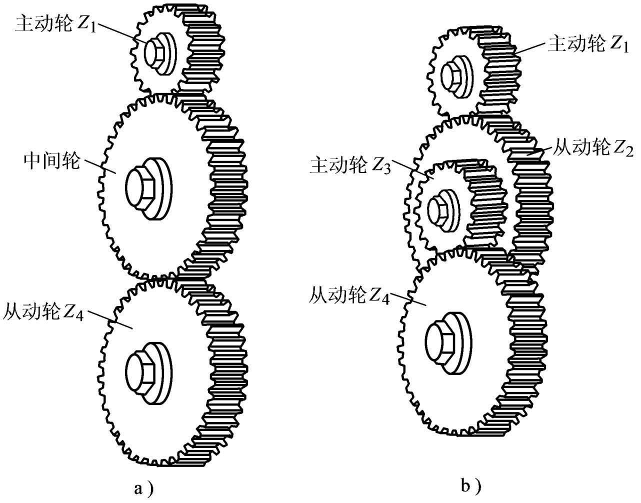


图 7-23　单式轮系和复式轮系

a）单式轮系　b）复式轮系

1）基本计算公式。车削螺纹传动比，就是丝杠与工件（主轴）的传动比。

设丝杠螺距为 $P_{丝}$，工件为单线螺纹，其螺距为 $P_{工}$。在相同的单位时间内，丝杠旋转 $n_{丝}$ 时，丝杠带动车刀平移的距离为 $n_{丝}P_{丝}$，这时工件旋转 $n_{工}$ 时，车刀平移的距离 $n_{工}P_{工}$ 与 $n_{丝}P_{丝}$ 相等，即

$$n_{丝}P_{丝}=n_{工}P_{工} \tag{7-27}$$

那么

$$\frac{n_{丝}}{n_{工}}=\frac{P_{工}}{P_{丝}} \tag{7-28}$$

根据传动比概念，车削螺纹传动比 i 和交换齿轮的基本计算公式为

$$i=\frac{n_{丝}}{n_{工}}=\frac{P_{工}}{P_{丝}}=\frac{Z_1}{Z_2}\times\frac{Z_3}{Z_4} \tag{7-29}$$

式中　i——丝杠与工件的传动比；

$n_{丝}$——丝杠转速（r/min）；

$n_{工}$——工件转速（r/min）；

$P_{工}$——工件导程（或螺距）（mm）；

$P_{丝}$——丝杠螺距（mm）；

Z_1、Z_3——主动轮齿数；

Z_2、Z_4——主动轮齿数。

以基本计算公式为基础，经过延伸，可推导出一系列交换齿轮的计算公式。

在计算交换齿轮时，$P_{工}$ 应取工件的导程，当螺纹线数为 1 时，$P_{工}$ 才取工件的螺距。

同时，根据具体情况，两主动轮 Z_1 和 Z_3 或两从动轮 Z_2 和 Z_4 可相互调换位置，不影响传动比。

2）交换齿轮的验算。计算出的交换齿轮，一般应进行验算。主要是检验交换齿轮的传动比或工件螺距是否正确。验算的方法有以下两种：

①约分法。把计算出的交换齿轮按分数的运算规则约简，看约简后的分数是否与原速比相同。

②计算法。将原来的计算公式移项，即工件实际螺距 $P'_{工}$ 为

$$P'_{工} = \frac{Z_1}{Z_2} \times \frac{Z_3}{Z_4} \times P_{丝} \tag{7-30}$$

3）交换齿轮的啮合条件。无进给箱的车床为了满足车削不同螺纹导程的需要，一般常备的交换齿轮的齿数有：20、25、30、35、40、40、45、50、55、60、60、65、70、75、80、85、90、95、100、105、110、115、120 和 127。

在计算复式轮系的交换齿轮时，为防止在组装时齿与齿啮合不上或齿与轴产生干涉现象，各齿轮齿数必须符合下列两条啮合条件

$$Z_1 + Z_2 - Z_3 > 15$$

$$Z_3 + Z_4 - Z_2 > 15 \tag{7-31}$$

当计算出的交换齿轮不符合啮合原则时，可相互调换主动轮间以及从动轮间的组装位置，或将主动轮和从动轮的齿数同时扩大或缩小相同的倍数。

4）米制车床车米制螺纹。米制车床米制螺纹交换齿轮的计算公式即式（7-29）的基本计算公式，可改换成以下实用形式

$$\frac{Z_1}{Z_2} \times \frac{Z_3}{Z_4} = \frac{P_{工}}{P_{丝}} \tag{7-32}$$

具体计算方法是：先将 $P_{工}$ 和 $P_{丝}$ 代入式（7-32），分别将分子或分母作因式分解后，根据分子和分母同时扩大或缩小相同的倍数其分数值不变的运算原则，计算出常备有的各齿数的齿轮。

例 10：车床丝杠螺距 $P_{丝} = 6\text{mm}$，工件螺距 $P_{工} = 2\text{mm}$，试计算交换齿轮。

解：根据式（7-32）

$$\frac{Z_1}{Z_2}\times\frac{Z_3}{Z_4}=\frac{P_{工}}{P_{丝}}=\frac{2}{6}=\frac{1}{3}$$

所以

$$\frac{Z_1}{Z_2}\times\frac{Z_3}{Z_4}=\frac{1\times20}{3\times20}=\frac{20}{60}=\frac{1\times30}{3\times30}=\frac{30}{90}$$

$$=\frac{1\times35}{3\times35}=\frac{35}{105}$$

上述几组交换齿轮传动比都等于$\frac{1}{3}$，即 $i=\frac{1}{3}$，这时，工件旋转 3 周时，丝杠旋转 1 周。所以各组均符合，可任选一组，由于是单式轮系，需再增加一个传递的中间轮即可。

例 11：$P_{丝}=12\text{mm}$，工件螺距 $P_{工}=1.5\text{mm}$，试计算交换齿轮。

解：根据式（7-32）

$$\frac{Z_1}{Z_2}\times\frac{Z_3}{Z_4}=\frac{P_{工}}{P_{丝}}=\frac{1.5}{12}=\frac{1.5\times20}{12\times20}=\frac{30}{240}$$

或

$$\frac{Z_1}{Z_2}\times\frac{Z_3}{Z_4}=\frac{P_{工}}{P_{丝}}=\frac{1.5}{12}=\frac{1.5\times10}{12\times10}=\frac{15}{120}$$

由于常备的齿轮中没有 240 齿和 15 齿的齿轮，所以，它们都不能用。因此把一个分式分拆为两个分式

$$\frac{Z_1}{Z_2}\times\frac{Z_3}{Z_4}=\frac{1.5}{12}=\frac{150}{1200}=\frac{2\times75}{10\times120}=\frac{(2\times10)\times75}{(10\times10)\times120}$$

$$=\frac{20}{100}\times\frac{75}{120}$$

计算的交换齿轮是复式轮系，即 $Z_1=20$，$Z_2=100$，$Z_3=75$，$Z_4=120$。

验算工件实际螺距 $P'_{工}$：

根据式（7-30）

$$P'_{工}=\frac{Z_1}{Z_2}\times\frac{Z_3}{Z_4}\times P_{丝}=\frac{20}{100}\times\frac{75}{120}\times12\text{mm}=1.5\text{mm}$$

误差：

$$P'_{工}-P_{工}=1.5-1.5=0$$

验证啮合条件：

根据式（7-31）

$$Z_1+Z_2-Z_3=20+100-75=45>15$$

$$Z_3+Z_4-Z_2=75+120-100=95>15$$

经验算：$\frac{Z_1}{Z_2}\times\frac{Z_3}{Z_4}=\frac{20}{100}\times\frac{75}{120}$交换齿轮均符合要求。

5）米制车床车英制螺纹。用米制车床车削英制螺纹计算交换齿轮时，应根据式（7-8）的关系式将英制螺纹的每英寸牙数 n 换算成米制螺距

$$P_{工} = \frac{25.4}{工件每英寸牙数}\ (\mathrm{mm})$$

同一单位后再带入式（7-32）的计算公式中去，即

$$\frac{Z_1}{Z_2} \times \frac{Z_3}{Z_4} = \frac{P_{工}}{P_{丝}} = \frac{\dfrac{25.4}{工件每英寸牙数}}{P_{丝}} = \frac{25.4}{P_{丝} \times 工件每英寸牙数} \qquad (7\text{-}33)$$

由于 25.4 是一个非整数，为便于计算，可以用表 7-9 中的一个分数或近似分数替代。表 7-9 为按分数值精度依次递减排列的分数表达式，以便在计算时，根据螺纹精度选用。

表 7-9　25.4 的分数表达式

分数表达式	分数值/mm	误差/mm	特备齿轮齿数
$\frac{127}{5}$	25.4000	0	127
$\frac{40 \times 40}{63}$	25.39683	0.00317	
$\frac{18 \times 24}{17}$	25.41176	0.01176	
$\frac{11 \times 30}{13}$	25.38461	0.01539	

例 12：$P_{丝} = 6\mathrm{mm}$，车削每英寸 12 牙的英制螺纹，试计算交换齿轮。

解：根据式（7-33），并用 $\frac{127}{5}$ 替代 25.4

$$\frac{Z_1}{Z_2} \times \frac{Z_3}{Z_4} = \frac{25.4}{P_{丝} \times 工件每英寸牙数} = \frac{\dfrac{127}{5}}{6 \times 12} = \frac{127}{5 \times 6 \times 12} = \frac{30}{90} \times \frac{127}{120}$$

验算工件实际螺距 $P'_{工}$：

根据式（7-30）

$$P'_{工} = \frac{Z_1}{Z_2} \times \frac{Z_3}{Z_4} \times P_{丝} = \frac{30}{90} \times \frac{127}{120} \times 6\mathrm{mm} = 2.1167\mathrm{mm}$$

米制工件螺距 $P_{工} = \dfrac{25.4}{工件每英寸牙数} = \dfrac{25.4}{12}\mathrm{mm} = 2.1167\mathrm{mm}$

误差　　$P'_{工} - P_{工} = 2.1167 - 2.1167 = 0$

验证啮合条件：

根据式（7-31）

$$Z_1+Z_2-Z_3=30+90-127=-7<15$$
$$Z_3+Z_4-Z_2=127+120-90=157>15$$

看出前一项不满足啮合条件。经观察，后一项差值很大。根据乘法交换律原则，在传动比不变的前提下，将 Z_2 和 Z_4 换位

$$\frac{Z_1}{Z_2}\times\frac{Z_3}{Z_4}=\frac{30}{120}\times\frac{127}{90}$$

这样：$Z_1+Z_2-Z_3=30+120-127=23>15$

$Z_3+Z_4-Z_2=127+90-120=97>15$

经验算：$\frac{Z_1}{Z_2}\times\frac{Z_3}{Z_4}=\frac{30}{120}\times\frac{127}{90}$均符合要求。

例 13：$P_{丝}=6\text{mm}$，车削每英寸 8 牙的英制螺纹，如果没有 127 齿的常备齿轮，试计算交换齿轮。

解：拟用$\frac{11\times30}{13}$替代 25.4，则根据式（7-33）

$$\frac{Z_1}{Z_2}\times\frac{Z_3}{Z_4}=\frac{25.4}{P_{丝}\times\text{工件每英寸牙数}}=\frac{11\times30}{13\times6\times8}=\frac{11\times5}{13\times8}=\frac{55}{65}\times\frac{50}{80}$$

验算工件实际螺距 $P'_{工}$：

根据式（7-30）

$$P'_{工}=\frac{Z_1}{Z_2}\times\frac{Z_3}{Z_4}\times P_{丝}=\frac{55}{65}\times\frac{50}{80}\times6\text{mm}=3.173\text{mm}$$

米制工件螺距 $P_{工}=\frac{25.4}{\text{工件每英寸牙数}}=\frac{25.4}{8}\text{mm}=3.175\text{mm}$

误差　　$P'_{工}-P_{工}=(3.173-3.175)\text{mm}=-0.002\text{mm}$

验证啮合条件：

根据式（7-23）

$$Z_1+Z_2-Z_3=55+65-50=70>15$$
$$Z_3+Z_4-Z_2=50+80-65=65>15$$

经验算：$\frac{Z_1}{Z_2}\times\frac{Z_3}{Z_4}=\frac{55}{65}\times\frac{50}{80}$均符合要求。

6）英制车床车米制螺纹。用英制车床车削米制螺纹计算交换齿轮时，首先应把英制丝杠的每英寸牙数换算成米制螺距

$$P_{丝}=\frac{25.4}{\text{丝杠每英寸牙数}}\ (\text{mm})$$

统一单位后，再将 $P_{丝}$ 代入式（7-32）中去，即

$$\frac{Z_1}{Z_2}\times\frac{Z_3}{Z_4}=\frac{P_{工}}{P_{丝}}=\frac{P_{工}}{\dfrac{25.4}{丝杠每英寸牙数}}=\frac{P_{工}\times 丝杠每英寸牙数}{25.4} \tag{7-34}$$

在计算时，式中的 25.4 也需用表 7-8 所列的分数替代。

例 14：英制车床丝杠每英寸 6 牙，若车削工件螺距 $P_{工}=4\text{mm}$ 的双线螺纹，试计算交换齿轮。

解：车削多线螺纹时，交换齿轮应按导程 L 计算。根据式（7-1）

$$L=nP=2\times 4\text{mm}=8\text{mm}$$

拟用 $\frac{127}{5}$ 替代 25.4，则根据式（7-34）

$$\frac{Z_1}{Z_2}\times\frac{Z_3}{Z_4}=\frac{nP_{工}\times 丝杠每英寸牙数}{25.4}=\frac{2\times 4\times 6\times 5}{127}=\frac{8\times 30}{1\times 127}=\frac{80}{20}\times\frac{60}{127}$$

验算工件实际螺距 $P'_{工}$：

根据式（7-30）

$$P'_{工}=\frac{Z_1}{Z_2}\times\frac{Z_3}{Z_4}\times P_{丝}=\frac{60}{20}\times\frac{80}{127}\times\frac{25.4}{6}\text{mm}=8\text{mm}$$

米制工件导程 $L=nP_{工}=8\text{mm}$

误差　$P'_{工}-nP_{工}=8-8=0$

验证啮合条件：

根据式（7-31）

$$Z_1+Z_2-Z_3=80+20-60=40>15$$

$$Z_3+Z_4-Z_2=60+127-20=167>15$$

经验算：$\frac{Z_1}{Z_2}\times\frac{Z_3}{Z_4}=\frac{80}{20}\times\frac{60}{120}$ 均符合要求。

7）英制车床车英制螺纹。在用英制车床车削英制螺纹时，如果将英制丝杠和英制螺纹均化成米制形式后，再将它们代入式（7-32）中，则

$$\frac{Z_1}{Z_2}\times\frac{Z_3}{Z_4}=\frac{P_{工}}{P_{丝}}=\frac{\dfrac{25.4}{工件每英寸牙数}}{\dfrac{25.4}{丝杠每英寸牙数}}=\frac{丝杠每英寸牙数}{工件每英寸牙数} \tag{7-35}$$

即，用英制车床车削英制螺纹计算交换齿轮时，工件和丝杠的每英寸牙数不必换算成米制形式，直接将它们代入式（7-35）即可。

例 15：英制车床丝杠每英寸 4 牙，若车削每英寸 28 牙的管螺纹，试计算交换齿轮。

解：根据式（7-35）

$$\frac{Z_1}{Z_2}\times\frac{Z_3}{Z_4}=\frac{\text{丝杠每英寸牙数}}{\text{工件每英寸牙数}}=\frac{4}{8}=\frac{1\times4}{2\times14}=\frac{20}{70}\times\frac{40}{80}$$

验算工件每英寸牙数：

将式（7-35）移项得

$$\text{工件每英寸牙数}=\frac{Z_2}{Z_1}\times\frac{Z_4}{Z_3}\times\text{丝杠每英寸牙数}$$
$$=\frac{70}{20}\times\frac{80}{40}\times4=28$$

验证啮合条件：

根据式（7-31）

$$Z_1+Z_2-Z_3=20+70-40=50>15$$
$$Z_3+Z_4-Z_2=40+80-70=50>15$$

经验算：$\frac{Z_1}{Z_2}\times\frac{Z_3}{Z_4}=\frac{20}{70}\times\frac{40}{80}$均符合要求。

8）交换齿轮的近似计算。在用注射模成型螺纹塑件时，由于热胀冷缩的原因，成型塑件在冷却至常温时，在各个方向都有一定量的收缩，称为塑件的收缩率。所以，在车削螺纹型芯或螺纹型环时，按常规车削出的螺距，在成型螺纹后，塑件因收缩而变小，达不到技术要求。所以在作模实践中，采用近似计算交换齿轮的方法，使塑件螺距的误差最小，以满足配合使用的需要。

例 16：塑件为 M30×3.5mm 的内螺纹，塑料收缩率 $S=0.025$，车床丝杠 $P_{丝}=6\text{mm}$，试求近似交换齿轮。

解：考虑收缩率因素，螺纹型芯的螺距 P_m 为

$$P_m=(1+S)\pm\delta$$
$$=[3.5\times(1+0.025)\pm0.02]\text{mm}$$
$$=(3.5875\pm0.02)\text{mm}$$

根据式（7-32）

$$\frac{Z_1}{Z_2}\times\frac{Z_3}{Z_4}=\frac{P_{工}}{P_{丝}}=\frac{3.5875}{6}\approx\frac{17.9375}{30}\approx\frac{18}{30}=\frac{60}{100}$$

验算型芯实际螺距 P'_m：

根据式（7-30）

$$P'_m=\frac{Z_1}{Z_2}\times\frac{Z_3}{Z_4}\times P_{丝}=\frac{60}{100}\times6\text{mm}=3.6\text{mm}$$

误差：$P'_m-P_m=(3.6-3.5875)\text{mm}=0.0125\text{mm}$，在公差范围内。

例 17：塑件为 M6×1mm 的外螺纹，塑件收缩率 $S=0.025$，车床丝杠 $P_{丝}=6mm$，求近似交换齿轮。

解：考虑收缩率因素，螺纹型环的螺距 P_m 为

$P_m=P(1+S)\pm\delta=[1\times(1+0.025)\pm0.01]mm=(1.025\pm0.01)mm$

根据式（7-32）

$$\frac{Z_1}{Z_2}\times\frac{Z_3}{Z_4}=\frac{P_m}{P_{丝}}=\frac{1.025}{6}\approx\frac{51.25}{300}\approx\frac{51}{300}=\frac{30}{120}\times\frac{85}{125}$$

验算型环实际螺距 P'_m：

根据式（7-30）

$$P'_m=\frac{Z_1}{Z_2}\times\frac{Z_3}{Z_4}\times P_{丝}=\frac{30}{120}\times\frac{85}{125}\times6mm=1.02mm$$

误差：$P'_m-P_m=(1.02-1.025)mm=-0.005mm$

验证啮合条件：

根据式（7-31）

$$Z_1+Z_2-Z_3=30+120-85=65>15$$

$$Z_3+Z_4-Z_2=85+125-120=90>15$$

经验算：$\frac{Z_1}{Z_2}\times\frac{Z_3}{Z_4}=\frac{30}{120}\times\frac{85}{120}$均符合要求。

（3）在有进给箱车床上交换齿轮的变通计算　在车削特殊螺距的螺纹时，往往在进给箱铭牌上找不到这种螺距。这时可通过变通的计算方法，对原有某个螺距的传动比进行修正后，即可车削出需要的螺纹螺距来。这在修配行业是经常采用的一种变通方法。

1）变通方法。可在铭牌上选取与工件螺距相近的螺距 P_1 或每英寸牙数 n，用下列公式变通计算交换齿轮 $i_{变}$：

当车削米制螺纹时

$$i_{变}=\frac{Z_1}{Z_2}\times\frac{Z_3}{Z_4}=\frac{P}{P_1}\times i_{原} \tag{7-36}$$

当车削英制螺纹时

$$i_{变}=\frac{Z_1}{Z_2}\times\frac{Z_3}{Z_4}=\frac{n_1}{n}\times i_{原} \tag{7-37}$$

式中　$i_{变}$——新计算出的变通交换齿轮比；

P——工件螺距（mm）；

P_1——在铭牌上任意选取的螺距（mm）；

n_1——在铭牌上任意选取的每英寸牙数；

n——工件每英寸牙数；

$i_{原}$——所选取的 P_1 或 n_1 位置上原来的交换齿轮（一般在铭牌上注明）。

例 18：在 C618 型普通车床上车削螺距 $P=2.4\text{mm}$ 的螺纹，其进给箱铭牌见表 7-10。计算变通交换齿轮 $i_{变}$ 和确定变换手柄位置。

解：在表 7-10 的铭牌上无 $P=2.4\text{mm}$，现在铭牌上选取 $P_1=2\text{mm}$，并查得

$$i_{原}=\frac{45}{90}$$

根据式（7-36）

$$i_{变}=\frac{Z_1}{Z_2}\times\frac{Z_3}{Z_4}=\frac{P}{P_1}\times i_{原}=\frac{2.4}{20}\times\frac{45}{90}=\frac{48}{40}\times\frac{45}{90}=\frac{48}{80}$$

变换手柄仍在 $P_1=2\text{mm}$ 原来的位置上，即诺顿手柄：5；移动手柄：Ⅰ。

表 7-10　C618 型车床进给箱铭牌

米制螺纹									英制螺纹								
交换齿轮				诺顿手柄	移动手柄	螺距/mm	移动手柄	螺距/mm	交换齿轮				诺顿手柄	移动手柄	螺距/mm	移动手柄	螺距/mm
Z_1	Z_2	Z_3	Z_4						Z_1	Z_2	Z_3	Z_4					
45	90	36	120	1		0.3			127	90	36	96	1		24		
45	90	48	120	1		0.4			127	80	36	90	1		20		5
48	96	45	90	1		0.5			127	95	48	96	1		19		
48	96	36	90	4		0.7			127	90	48	96	1		18		
48	96	45	90	3		0.75		3	127	80	36	9	2		16		4
48	96	36	90	5	Ⅰ	0.8	Ⅱ		127	70	48	96	1	Ⅰ	14	Ⅱ	
48	96	45	90	5		1.0		4	127	90	48	96	3		12		3
48	96	45	90	6		1.25		5	127	44	36	90	1		11		
45	80		90	7		1.5		6	127	80	36	90	5		10		2.5
45	80		90	4		1.75		7	127	90	48	96	5		9		
45	80		90	5		2		8	127	80	36	90	6		8		2
45	80		90	6		2.5		10	127	80	48	90	6		6		

例 19：在 C618 车床上车削 1in28 牙的英制螺纹，铭牌上找不到，试计算交换齿轮 $i_{变}$ 和确定变换手柄位置。

解：在表 7-9 中无 1in28 牙的英制螺纹，现在铭牌上选取 $n_1=24$，并查得

$$i_{原}=\frac{127}{90}\times\frac{36}{96}$$

根据式（7-37）

$$i_{变} = \frac{Z_1}{Z_2} \times \frac{Z_3}{Z_4} = \frac{n_1}{n} \times i_{原} = \frac{24}{28} \times \frac{127}{90} \times \frac{36}{96} = \frac{127}{105} \times \frac{36}{96}$$

变换手柄仍在 $n_1 = 24$ 的原来位置上，即诺顿手柄：1；移动手柄：Ⅰ。

由于常备齿轮中没有齿数 = 105 的齿轮。但 $n = 28$ 是常见的管螺纹，为扩大使用范围，一般应配备这个齿轮，备以后使用。

例 20：一英制车床的铭牌如表 7-11 所示。今车削铭牌上找不到的每英寸 $4\frac{2}{3}$ 牙的英制螺纹，试计算交换齿轮 $i_{变}$ 和确定变换手柄位置。

解：选取 $n_1 = 7$，根据表 7-11 查得

$$i_{原} = \frac{60}{60}$$

根据式（7-37）

$$i_{变} = \frac{Z_1}{Z_2} \times \frac{Z_3}{Z_4} = \frac{n_1}{n} \times i_{原} = \frac{7}{4\frac{2}{3}} \times \frac{60}{60} = \frac{3}{2} = \frac{90}{60}$$

变换手柄仍在 $n_1 = 7$ 的原来位置上，即 A：1，B：3。

表 7-11　英制车床进给箱铭牌

英制螺纹								
A	1	2	3	4	5	6	7	8
B	每英寸牙数							
1	28	26	24	22	20	19	18	16
2	14	13	12	11	10	$9\frac{1}{2}$	9	8
3	7	$6\frac{1}{2}$	6	$5\frac{1}{2}$	5	$4\frac{3}{4}$	$4\frac{1}{2}$	4
4	$3\frac{1}{2}$	$3\frac{1}{4}$	3	$2\frac{3}{4}$	$2\frac{1}{2}$	$2\frac{3}{8}$	$2\frac{1}{4}$	2
	主动轮		中间齿轮				被动齿轮	
A	1	8	3	7	8	8	8	8
B	螺距/mm							
1	0. 25		0. 375	0. 5		0. 625		0. 75
2	0. 5	0. 875	0. 75	1	1. 125	1. 25	1. 375	1. 5
3	1	1. 75	1. 5	2	2. 25	2. 5	2. 75	3
4	2	3. 5	3	4	4. 5	5	5. 5	6
主动齿轮	35		45			50	55	60
中间齿轮	90		90			90	90	90
被动齿轮	127		127			127	127	127
交换齿轮：35、45、50、55、60、60、90、100、120、127								

例 21： 用例 20 的英制车床，车削铭牌上找不到的 $P=0.9\text{mm}$ 的米制螺纹，试计算交换齿轮 $i_{变}$ 和确定变换手柄位置。

解： 选取 $P_1=1\text{mm}$，并查得

$$i_{原}=\frac{45}{127}$$

根据式（7-36）

$$i_{变}=\frac{Z_1}{Z_2}\times\frac{Z_3}{Z_4}=\frac{P}{P_1}\times i_{原}=\frac{0.9}{1}\times\frac{45}{127}=\frac{90}{100}\times\frac{45}{127}$$

变换手柄仍在 $P_1=1\text{mm}$ 的原来位置上，即 A：7，B：2。

2）验算工件实际螺距 P'。当计算新的交换齿轮后，也应进行验算，检验工件实际螺距 P'是否符合技术要求。

在进行变通计算时，是以所选取铭牌上的 P_1 或 n_1 的交换齿轮比 $i_{原}$ 为计算因子的，而车床丝杠 $P_{丝}$ 是通过几种不同的变速后才与交换齿轮 $i_{原}$ 联接的，即 $i_{原}$ 包含了车床丝杠 $P_{丝}$ 的计算因素。所以在验算工件的实际螺距 P'时，可用 $i_{原}$ 代替车床丝杠 $P_{丝}$。即将式（7-36）和式（7-37）变换成

$$P'=\frac{i_{变}}{i_{原}}\times P_1 \tag{7-38}$$

$$n'=\frac{i_{原}}{i_{变}}\times n_1 \tag{7-39}$$

下面对以上几个例题中工件的实际螺距 P'和每英寸牙数 n'进行验算：

在例 18 中，根据式（7-38）

$$P'=\frac{i_{变}}{i_{原}}\times P_1=\frac{\frac{48}{80}}{\frac{45}{90}}\times 2=\frac{48}{80}\times\frac{90}{45}\times 2\text{mm}=2.4\text{mm}$$

在例 19 中，根据式（7-39）

$$n'=\frac{i_{原}}{i_{变}}\times n_1=\frac{\frac{127}{90}\times\frac{36}{96}}{\frac{127}{105}\times\frac{36}{96}}\times 24=\frac{127}{90}\times\frac{36}{96}\times\frac{105}{127}\times\frac{96}{36}\times 24=28$$

在例 20 中，据式（7-39）

$$n' = \frac{i_{原}}{i_{变}} \times n_1 = \frac{\frac{60}{60}}{\frac{90}{60}} \times 7 = \frac{60}{60} \times \frac{60}{90} \times 7 = 4\ \frac{2}{3}$$

在例 21 中，根据式（7-38）

$$P' = \frac{i_{变}}{i_{原}} \times P_1 = \frac{\frac{90}{100} \times \frac{45}{127}}{\frac{45}{127}} \times 1 = \frac{90}{100} \times \frac{45}{127} \times \frac{127}{45}\text{mm} = 0.9\text{mm}$$

通过验算看出，变通计算出的传动比 $i_{变}$ 确定的工件实际螺距 P'和每英寸牙数 n'完全正确。观察和计算各交换齿轮也都符合啮合条件。

7.3.2　乱扣现象

在车削螺纹时，一般要经过多次重复进刀才能形成正确的牙型和达到尺寸精度的要求。而第一次进刀后，在闭合开合螺母再次进刀时，有时刀尖仍在原进刀形成的螺旋槽内运行；但有时刀尖则忽左忽右地偏离螺旋槽，将螺纹车乱。这种情况，称为车螺纹的乱扣，又称乱牙。

1）产生乱扣的原因。产生乱扣现象的主要原因是车床丝杠的螺距不是工件螺距的整数倍，使得丝杠在旋转一周时，工件没有转过整数周。

在第一次进刀完成后，打开开合螺母，把床鞍移动到螺纹起始处的任意位置上。当丝杠螺距是工件螺距的整数倍时，丝杠牙型与开合螺母牙型吻合时，合上开合螺母，进行第二次进刀，这时，工件恰好转过某一整数周，车刀必然进入第一次车出的螺旋槽内，不会产生乱扣。而当丝杠螺距不是工件螺距的整数倍时，在丝杠旋转到某一整周合上闭合螺母时，工件并没有旋转到整数周，使第二次进刀时产生偏左偏右错位的乱扣现象。

2）乱扣现象的鉴别。鉴别乱扣现象的方法，就是计算丝杠螺距 $P_{丝}$ 与工件螺距 $P_{工}$ 的倍数关系。

将丝杠螺距 $P_{丝}$ 与工件螺距 $P_{工}$ 代入传动比 i 的关系式（7-32）中

$$i = \frac{Z_1}{Z_2} \times \frac{Z_3}{Z_4} = \frac{n_{丝}}{n_{工}} = \frac{P_{工}}{P_{丝}}$$

把分式约分成最简分式后，如果分子是 1，即乱扣数是 1，则表示丝杠螺距 $P_{丝}$ 是工件螺距 $P_{工}$ 的整数倍，即工件转数是丝杠转数的整数倍，这样在床鞍的任意位置上，只要合上闭合螺母都不会产生乱扣现象。

当分子数是 2、3…时，工件转数不是丝杠转数的整数倍，这样，在闭合开

合螺母时，车刀则分别有2、3…条通道，即其乱扣数分别为2、3…等。所以车刀会有多条通道，产生偏左、偏右或出现在牙顶上的乱扣现象。

例22：车床丝杠螺距 $P_{丝}=6\text{mm}$，工件螺距 $P_{工}=2\text{mm}$，求乱扣数。

解：根据式（7-29）

$$i=\frac{P_{工}}{P_{丝}}=\frac{2}{6}=\frac{1}{3}$$

其分子数为1，即乱扣数为1，不会乱扣。

例23：车床丝杠螺距 $P_{丝}=12\text{mm}$，工件螺距 $P_{工}=8\text{mm}$，求乱扣数。

解：根据式（7-29）

$$i=\frac{P_{工}}{P_{丝}}=\frac{8}{12}=\frac{2}{3}$$

其分子数为2，即乱扣数为2，车刀有2条通道。

例24：车床丝杠螺距 $P_{丝}=6\text{mm}$，工件螺距 $P_{工}=1.5\text{mm}$，求乱扣数。

解：根据式（7-29）

$$i=\frac{P_{工}}{P_{丝}}=\frac{1.5}{6}=\frac{3}{12}$$

其分子数为3，即乱扣数为3，车刀有3条通道。

例25：车床丝杠螺距 $P_{丝}=12\text{mm}$，车每英寸为12的英制螺纹，求乱扣数。

解：根据式（7-33）

$$i=\frac{25.4}{P_{丝}\times 工件每英寸牙数}=\frac{127}{5\times6\times12}=\frac{127}{360}$$

其分子数为127，即乱扣数为127，车刀共有127条通道。

例26：车床丝杠每英寸为4牙，工件螺距 $P_{工}=3\text{mm}$，求乱扣数。

解：根据式（7-34）

$$i=\frac{P_{工}\times 丝杠每英寸牙数}{25.4}=\frac{3\times4\times5}{127}=\frac{60}{127}$$

其分子数为60，即乱扣数为60，车刀共有60条通道。

可以看出，米制车床车英制螺纹，或英制车床车米制螺纹，由于有25.4的因素，它们的乱扣数不可能是1，即都会发生乱牙现象。在计算它们的乱扣数时，应从传动比的计算式入手，将已知数值代入后，再进行计算。

7.3.3　基本操作方法

1. 基本操作方式

为避免乱扣现象发生，车削螺纹的基本操作方式有以下几种：

（1）用开合螺母车螺纹　当 $P_{丝}$ 和 $P_{工}$ 的约简分子数是1时，不会产生乱扣

现象。这时，可采用依次闭合开合螺母的方法，其操作步骤是：

1）调好各部变换手柄后，开启车床，使车刀刀尖触及工件外圆，将中滑板刻度盘调整至零位，作为进刀的起始点。摇动床鞍手轮，使刀尖离开轴端，左手摇动中滑板手柄确定横向背吃刀量后，仍握住手柄，作退刀准备。

2）右手下压开合螺母手柄，使车刀按工件螺距的速度向前移动。当刀尖到达退刀位置时，左手迅速摇动中滑板手柄，使车刀后退。在刀尖退出工件的瞬间，右手立即将开合螺母手柄提起，使车刀停止移动。

在压下开合螺母手柄时，不可用力过猛，动作应平缓，等待牙型对合后再用力下压。

3）摇动床鞍手轮，使车刀右移复位，再作下一次进刀的操作。

采用开合螺母车螺纹简单快捷，是常用的操作形式。

（2）用倒顺车车螺纹　当螺纹会产生乱扣现象时，可采用倒顺车车螺纹的方法，它是在开合螺母始终闭合的状态下，车床主轴正转使车刀切入，再使车床主轴反转，使车刀空程返回的操作方法。其操作步骤是：

1）确定进刀起始点后，摇动床鞍手轮，使刀尖停在轴端外侧约 3～5mm 处时停车。左手摇动中滑板手柄，控制横向背吃刀量后，仍握住手柄，随时作退刀准备。

2）开启车床，使主轴正转。右手压下开合螺母手柄，使车刀切入工件。当车刀刀尖到达退刀位置时，左手迅速摇动中滑板手柄，使车刀后退后，再使主轴反转回车。

3）当车刀右移复位后，停车，再横向进刀，使主轴正转，进行下一次车削。

采用倒顺车的方法车螺纹的切削特点是：

1）应用较广，不论螺纹的乱扣数是多少，均可采用这种方法。

2）由于频繁操纵反正车，所以在采用卡盘装夹工件时，应在卡盘和主轴间加设保险装置，以防止反转的惯性使卡盘脱落；在采用两顶尖装夹工件时，鸡心夹应固定在拨盘上，以防止变向时的间歇。

3）必要时应在开合螺母手柄上加设重块，以保持开合螺母与丝杠配合间隙的稳定性。

4）在车削较长的螺纹时，回车速度较慢，影响切削效率。

（3）借助乱扣盘车螺纹　有些车床在溜板箱右侧安装一个乱扣盘。在车削乱扣盘较小的螺纹时，可借助乱扣盘的刻度，采用压下或上提开合螺纹手柄的方法进行切削。

1）乱扣盘的结构形式如图 7-24 所示。在乱扣盘下方设置蜗轮 1 与丝杠 2 牙型啮合，丝杠在旋转时，带动蜗轮 1 和同轴的刻度盘 3 同步旋转。蜗轮一般有

24 齿，乱扣盘的刻度一般是蜗轮齿数的一半，即 6 长 6 短共 12 条刻线圆周均匀分布，如图 7-24b 所示。每条刻线与基准指针的位置都是开合螺母牙形与丝杠牙形吻合的位置，即将开合螺母下压合闸的时刻。

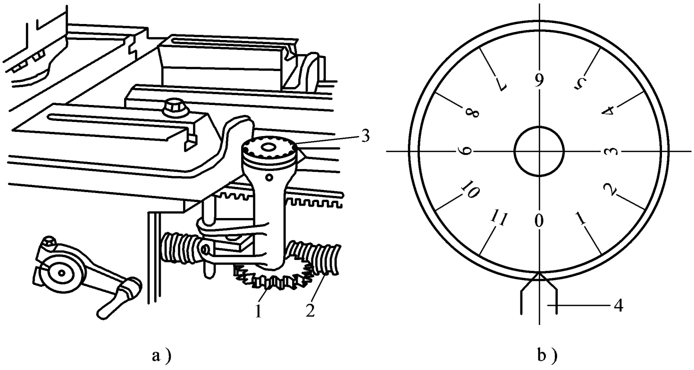


图 7-24　乱扣盘的结构形式

1—蜗轮　2—丝杠　3—刻度盘　4—基准指针

2）乱扣盘的运作机理是：当丝杠每转一周时，都有一次开合螺母与丝杠牙型吻合而闭合螺母的机会，如果蜗轮是 24 齿，这时，刻度盘 3 每旋转 1 周时，丝杠旋转了 24 周，就有 24 次合闸的机会，即不论在刻线处或在两刻线中间处都可以合闸。那么，当乱牙数为 1 时，只要在各刻线处或两刻线中间处，都可以准确地合闸。

当乱扣数为 2 时，车刀有两条可行的通道，即分别在各刻线处或两刻线中间处形成。因此，人为地堵塞刻线中间处的通道，只在各刻线处合闸，就可以避免产生乱扣现象。同理，当乱扣数为 4 时，可在各长刻线处合闸；乱扣数为 8 时，可在各相间的 0、4、8 等长线处合闸。当乱扣数为 3 时，可利用两刻线中间处暗存的一闸，在 0、1.5、3 处合闸，并用彩笔标记清楚；当乱扣数为 6 或 12 时，可在 0、3、6 等或 0、6 等长线处合闸。

3）确定乱扣盘应转过格数的方法是：先计算螺纹的乱扣数，再观察蜗轮的齿数以及它与刻度盘刻线的倍数关系，从而了解每条刻线间所含的合闸数，即可确定刻度盘刻线应转过的格数。常用下式计算

$$n_1 = X \times \frac{n}{z} \tag{7-40}$$

式中　n_1——刻度盘刻线应转过的格数（格）；

X——螺纹的乱扣数；

n——刻度盘盘面刻线总格数（格）；

z——蜗轮齿数。

例 27：用丝杆螺距 $P_{丝}=6\text{mm}$ 的车床车削 $P_{工}=8\text{mm}$ 的螺纹，已知：蜗轮齿数为 24，刻度盘共有 6 长 6 短 12 条刻线，试问如何确定刻度盘格数。

解：根据式（7-29）

$$i=\frac{P_{工}}{P_{丝}}=\frac{8}{6}=\frac{4}{3}$$

其分子数为 4，即乱扣数为 4。

根据式（7-37）

$$n_1=X\times\frac{n}{z}=4\times\frac{12}{24}\text{格}=2\ \text{格}$$

即刻度盘每转过 2 格时，就可以合闸，或者说每逢长刻度（或短刻度）时，即可压下开合螺母手柄。

4）借助乱扣盘车螺纹的特点

①根据乱扣盘刻度线下压开合螺母手柄，可使合闸精准、可靠。

②可应用于乱扣数为蜗轮齿数的公因数的螺纹，如 2、3、4、6、8、12 等。

③操作灵活迅速，节奏紧张有序。

④弥补倒顺车切削回车速度较慢的不足，提高切削效率。

⑤全部采用正转切削，减轻机床磨损。

2. 切削速度的选择

在车削三角形螺纹时，一般有低速切削和高速切削两种切削形式。

（1）低速切削　当车削螺距较大或精度较高的螺纹，以及单件生产或小批量生产时，多选用高速钢车刀，用 $v_c=5\sim15\text{m/min}$ 的切削速度进行低速切削。它的切削特点是：切削稳定、加工质量高，但生产效率相对较低。

（2）高速切削　当车削螺距较小，精度要求较低的螺纹时，则选用硬质合金车刀，用 $v_c=50\sim70\text{m/min}$ 的切削速度进行高速切削。它的切削特点是：生产效率较高，一般比低速切削提高 10 倍以上，产品质量也基本满足一般的精度要求。但操作紧张，需有较高的操作技能。同时，在微量进给时，常常会产生硬质合金车刀吃不进刀的让刀现象，这是由刀具材料的性质决定的。

车刀最关键的部位是切削刃。我们知道，切削刃有倒棱刃和锋刃，倒棱刃可提高切削刃的强度，以承受较大的切削力，完成大切削量的粗加工；锋刃则是用于精加工，以获得所需的加工精度和工件表面质量。锋刃是在刃磨车刀并经过研磨后形成的，但实际上锋刃并不绝对锋利，刃口处都有一个近似半径为 r_a 的弧面存在，r_a 称为切削刃刃口圆弧半径。通过放大观察，硬质合金刀具 $r_a=18\sim26\mu\text{m}$，高速钢车刀 $r_a=7\sim14\mu\text{m}$，这是高速钢刀具比硬质合金刀具锋利的原因。所以，在小批量生产或加工大螺距的螺纹时，选用高速钢车刀进行低速切削时，采用较大的进给量，生产效率反而更高。况且，低速切削也比较安全。因此，在

实践中应根据具体情况，扬长避短，作合理选择。

3. 切削步骤

1）切削螺纹基本表面

①车削外螺纹时，先车削螺纹大径。由于切削的挤压作用，一般外径切削尺寸应比螺纹大径尺寸减小 0.12P，即

$$d_{外} = d - 0.12P \tag{7-41}$$

如在车 M24 粗牙普通螺纹时，$P = 3\text{mm}$，根据式（7-41），螺纹外径的尺寸 $d_{外}$ 为

$$d_{外} = d - 0.12P = (24 - 0.12 \times 3)\text{mm} = 23.64\text{mm}$$

②车削内螺纹时，由于车刀的挤压作用，内孔直径会缩小，因此车削内螺纹前的孔径 $D_{孔}$ 应比内螺纹小径 D_1 略大些。一般情况下，其孔径尺寸 $D_{孔}$ 可用下列近似公式计算

车削塑性金属的内螺纹时

$$D_{孔} \approx D - P \tag{7-42}$$

车削脆性金属的内螺纹时

$$D_{孔} = D - 1.05P \tag{7-43}$$

如在车削 M24 的粗牙普通内螺纹时（$P = 3\text{mm}$），工件材料为 45 钢，根据式（7-42），车削螺纹前的孔径 $D_{孔}$ 为

$$D_{孔} \approx D - P = (24 - 3)\text{mm} = 21\text{mm}$$

即比内螺纹小径 $D_1 = 20.752\text{mm}$ 大$(21 - 20.752)\text{mm} = 0.248\text{mm}$。

又如，车削 M24 × 2mm 的细牙普通内螺纹，材料为铸造锡青铜，根据式（7-43），车削螺纹前的孔径 $D_{孔}$ 为

$$D_{孔} \approx D - 1.05P = (24 - 1.05 \times 2)\text{mm} = 21.9\text{mm}$$

2）端部倒角。

3）车退刀槽或划退刀位置线。

4）装夹螺纹车刀。

5）试切螺纹，检测工件螺纹的螺距和旋转方向。调整主轴转速和按工件螺距 $P_{工}$ 调整交换齿轮和进给箱各移动手柄位置后，用较小的背吃刀量试切，划出螺纹浅痕后停车，检测工件螺距和旋转方向是否正确。检测的常用方法有：

①用钢直尺或游标卡尺检测。为了减少误差，一般应多跨几个牙型测量，如米制螺纹可测量螺距 $P_{工}$ 的 4 ~ 10 整数倍的长度中含有的整数牙型数，所测的长度除以牙数，即为螺距；英制螺纹则取 1in 或 2in 为测量长度，分别检测它们所包容的牙数，即为每英寸牙数。

②用螺距规检测。选择与螺纹螺距相合的螺距规，可直接读出工件螺距或每英寸牙数。

③在检测内螺纹螺距时，游标卡尺伸不进去，用钢直尺或螺距规也不方便观察，这时可将粉笔放入内孔中，紧贴螺孔小径，用手轻轻旋转，刻出螺痕，或用橡皮泥压印后取出，再用钢直尺、游标卡尺或螺纹规测量，即可确定其螺距。

4. 进刀方式

车三角形螺纹时，应根据螺距大小、精度要求以及工件材料选择进刀方式。

（1）低速切削　当切削精度要求较高的螺纹时，为保证螺纹车刀的锋利状态，多选择高速钢螺纹车刀，并采用低速切削的方法。

在低速切削时，其进刀方式有直进法、左右赶刀法和斜进法三种，如图 7-25 所示。

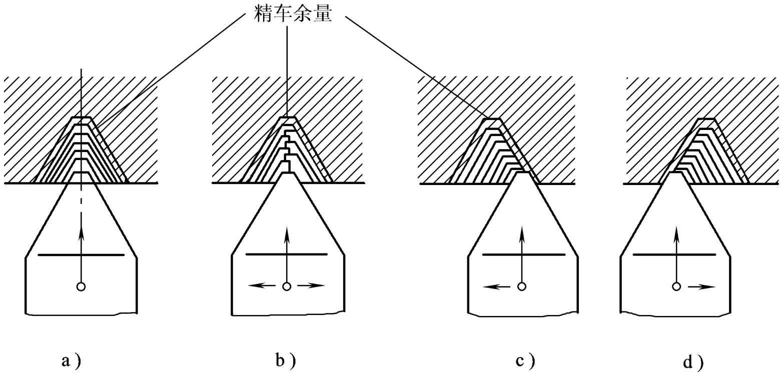


图 7-25　车削三角形外螺纹时的进刀方法

a）直进法　b）左右赶刀法　c）左向斜进法　d）右向斜进法

直进法是用中滑板横向垂直进给，分几次将螺纹车削成形的方法，如图 7-25a 所示。直进法切削时，螺纹车刀刀尖和两侧的切削刃同时参与切削，能保证牙型正确。但切削抗力较大，容易产生扎刀现象，只适用于加工脆性材料或螺距小于 2mm 的塑性材料螺纹。

左右赶刀法是在中滑板横向进给的同时，用小滑板使车刀时而向左、时而向右作纵向微量移动进给，并经过几次行程把螺纹切削成形的方法，又称左右切削法，如图 7-25b 所示。

采用左右赶刀法切削螺纹时，车刀只有一个侧刃和部分刀尖参与切削，可降低切削力并使排屑顺畅，不容易扎刀。左右赶刀法适用于加工螺距较大的螺纹。当螺纹精度要求较高时，可以用它进行留有余量的粗加工之后，再采用直进法进行精加工成型。

斜进法是在车削螺距较大的螺纹时，进行粗加工的常用方法。它是在每次往复行程时，除中滑板横向进给外，小滑板只向某一个方向作纵向微量进给，从而

形成斜向进给的进给方式。

斜进法分为左向斜进法和右向斜进法，分别如图 7-25c 和图 7-25d 所示。在车削螺距 $P=3\sim4\text{mm}$ 的螺纹时，采用左向斜进法和向右向斜进法均可。但在实际中我们体会到，在车削螺距很大的螺纹或车削内螺纹时，为改善刀体的受力状况，多采用右向斜进法，使切削余量相背于进给方向的一侧切去，使切削更加平稳，切削量也可以适当加大。在粗加工完成后，再采用直进法完成尺寸精度和牙型的精加工。

（2）高速切削　当车削螺距 $P=1.5\sim3\text{mm}$、一般精度的螺纹时，可用硬质合金螺纹车刀，采用高速切削的方法。由于硬质合金车刀切削刃的锋利程度较差，当采用左右赶刀法或斜进法车削螺纹时，会产生向一侧让刀的现象，影响牙型质量。所以在高速车削螺纹时，只能采用直进法切削。

采用直进法切削时，螺纹车刀两侧刃和刀尖同时参与切削，切削力较大。为此，应对直进的背吃刀量进行合理分配，即采用背吃刀量随进刀次数而递减的方法，以保持每次进给切削层面积和切削量的均衡。下面以采用直进法车削 M20（$P=2.5\text{mm}$）的螺纹为例，说明每次进给量的分配情况。

1）计算并车出螺纹外圆 $d_外$，根据式（7-41）

$$d_外=d-0.12P=(20-0.12\times2.5)\text{mm}=19.7\text{mm}$$

其单边减小量为 $h_减=\dfrac{0.12P}{2}=\dfrac{0.12\times2.5}{2}\text{mm}=0.15\text{mm}$

2）计算螺纹牙型高度 h，根据式（7-4）

$$h=0.54125P=0.54125\times2.5\text{mm}=1.353\text{mm}$$

3）以螺纹外圆 $d_外$ 为起点的实际背吃刀量为 $h_背$

$$h_背=h-h_减=(1.353-0.15)\text{mm}=1.203\text{mm}$$

4）每次进给量的分配情况如图 7-26 所示。其中：

第一次进给 $a_{p1}=0.51\text{mm}$

第二次进给 $a_{p2}=0.40\text{mm}$

第三次进给 $a_{p3}=0.20\text{mm}$

第四次进给 $a_{p4}=0.10\text{mm}$

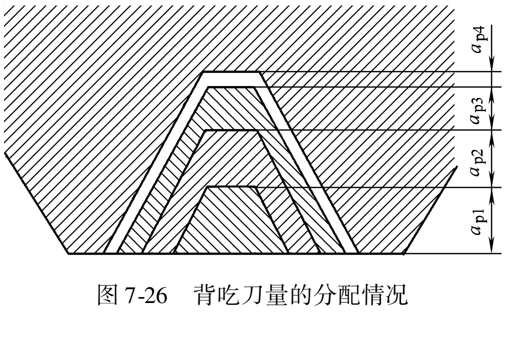


图 7-26　背吃刀量的分配情况

在高速切削螺纹时，由于螺纹车刀的挤压作用，使外螺纹大径或内螺纹小径涨出并产生毛刺，一般应在螺纹车好后对它们进行修光处理。

5. 控制螺纹中径的方法

螺纹中径是螺纹的重要参数，它的加工精度直接影响螺纹的配合和使用状况。在一般情况下，总是将外螺纹中径车得小一些，将内螺纹中径车得大一些，

这是为了弥补螺纹牙型角误差、牙型半角误差以及螺距误差（如近似计算的交换齿轮）等对配合旋入的影响。

在车削螺纹时，控制螺纹中径的方法是：

1）正确刃磨和安装车刀，使螺纹车刀工作的刀尖角、牙型半角以及刀尖宽度的精度均在允许的范围内。

2）用横向背吃刀量控制。在车削普通螺纹时，采用上述的方法，计算出牙型实际背吃刀量 $h_{背}$。通过中滑板刻度进给到这个深度并追加螺纹中径的公差因素后，即可达到所需要的螺纹中径。

3）修去牙型毛刺，用螺纹环规或塞规检查，使通端通过。

6. 螺纹收尾

当车削未设退刀槽的外螺纹时，车刀应在开合螺母或反正车动作前的瞬间循序渐退，使螺纹的收尾痕迹整洁清晰，尾部退刀痕迹的长度应控制在 2/3 周节范围内。

当车削如车床主轴前端等螺距较大的螺纹时，螺纹收尾处的要求更高。为此，我们采用正反转相结合的切削方式，先用正转粗车留有一定的加工余量后，再将螺纹精车刀反向装夹，使车刀在反向运转时进给，正向运转时空回程。这样，螺纹尾部的退刀痕迹在逐渐的修正过程中形成，就容易获得均匀整洁的退刀痕迹。

7. 车削内螺纹

车削三角形内螺纹的进刀方式和车削三角形外螺纹的方法基本相似，但有它的特殊性。

1）进刀和退刀方向与车削外螺纹相反。

2）车刀运作空间较小，使内螺纹刀柄细长、刚性差，易产生切削振动。

3）排屑困难，切削液不易注入切削区域。

4）不便于观察车刀运行状况，不容易掌握退刀时间。

车削三角形内螺纹的步骤和方法是：

1）内螺纹车刀刀体材料应具有足够的强度和刚度，尽量加大刀体的横截面积和缩短伸出的长度。

2）刀头处的径向长度应小于螺纹小径，以便于退刀。

3）内螺纹车刀应遵循内孔车刀和适应螺纹升角影响的特点，刃磨适宜的后角。在装夹时，应保证两刀尖半角的对称性，刀尖应对准或略高于工件中心。

4）先根据式（7-42）：$D_{孔}=D-P$ 或式(7-43)：$D_{孔}=D-1.05P$ 车削内螺纹底孔 $D_{孔}$。可以看出，以 $D_{孔}$ 为起点的实际背吃刀量 $h_{背}$，分别为$\dfrac{P}{2}$或$\dfrac{1.05P}{2}$。这时以 $D_{孔}$ 为起点，通过中滑板刻度进给到实际背吃刀量 $h_{背}$，并根据内螺纹车得

大一些原则，再追加螺纹中径的公差因素后，即可保证内螺纹的中径及其他尺寸。

5）切削时，左手始终紧握中滑板手柄，车刀到达退刀位置时应及时退刀，并注意退刀方向是向外的。

6）高速切削内螺纹的精准退刀。当高速切削不通孔的内螺纹时，因目测困难，不能直接观察车刀的退刀位置，所以车刀极易与台肩端面相撞。在实践中我们采用弹簧片显示退刀位置的方法。

其方法是，在内螺纹车刀的退刀位置上，装夹一磷铜弹片，与工件外端面对齐，如图 7-27 所示。当弹片在接近外端面的瞬间，内螺纹车刀刚好到达退刀位置，这时提起对合螺母手柄，再使车刀后退，即保证车刀不与台肩端面相撞。

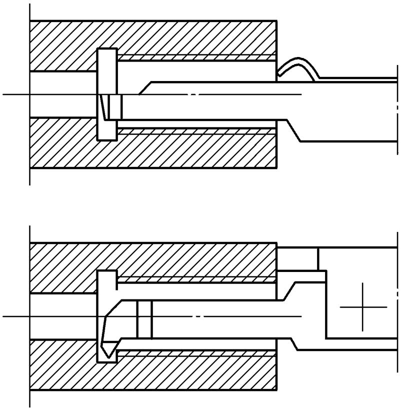


图 7-27　精准退刀的简易方法

同时，还应调节床鞍手轮把手的相对位置，将把手在车刀退刀位置时调整与纵向进给方向相背的位置，以免因手柄的偏心重力而产生的惯性前冲，影响退刀的精度。

实践中，我们多次在 C616 车床上车削 $P_{工}=1.5$mm 的内孔螺纹，采用 600r/min 的转速，均取得理想的效果。

7.3.4　车圆锥管螺纹

在车削有密封作用的圆锥管螺纹时，应根据精度要求、批量大小和车床装备等因素，确定切削方法。常用的方法有：

1）用有斜板靠模装置的车床上车削圆锥管螺纹。其方法与车削圆锥体相同，用小滑板直进刀。用这种方法车削的圆锥管螺纹，精度较高，工作效率高，可进行大批量生产。

2）手动退刀法。在摇动中滑板手柄时，采取反向进刀的方式，即先超前摇动手柄，再向后摇动，待消除丝杠移动间隙后，反向控制中滑板刻度的进刀方法。这样，在车刀进给时，摇动中滑板手柄随着圆锥表面的变化，使车刀随之均匀后退，直到达到退刀位置后再完全退出车刀。

采用这种方法车削时，必须紧握中滑板手柄，以防止切削力的冲击使车刀产生突发而无序的后退。

3）反切法。有两种反切法，如图 7-28 所示。将圆锥面车好后，一种方法是将反向螺纹车刀反向安装，如图 7-28a 所示；另一种方法是采用内螺纹车刀的形

式，将车刀移至圆锥表面的外侧，如图 7-28b 所示。操作时，先开正车，压下开合螺母，使车刀分别在圆锥表面的内侧或外侧空程移动至有效螺纹长度的位置后，改开反车，并迅速摇动中滑板手柄，使车刀分别切入工件后，再沿着圆锥表面均匀进给，经几次往复操作后，车至规定的尺寸。

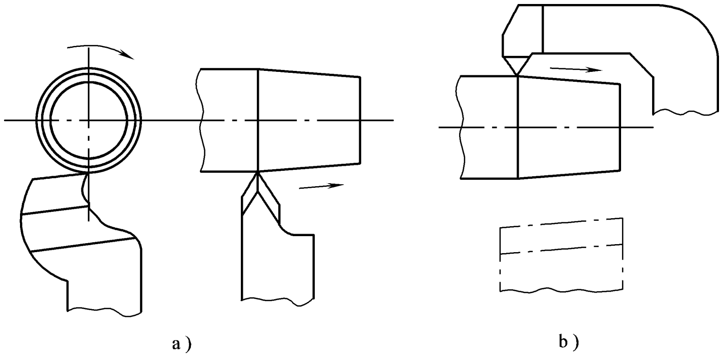


图 7-28　反切法车削圆锥管螺纹

车削圆锥表面一般采用转动小滑板的方法。当圆锥面较短时，由于精度要求不高，可以采用宽刃刀直进成形车出，以提高切削效率。

4）用尾座偏移法。当生产批量较大时，可采用偏移尾座的方法车削圆锥管螺纹。尾座偏移后，将工件装夹在梅花锥堵和球面顶套之间，靠梅花锥堵拨动工件旋转，如图 7-29 所示。

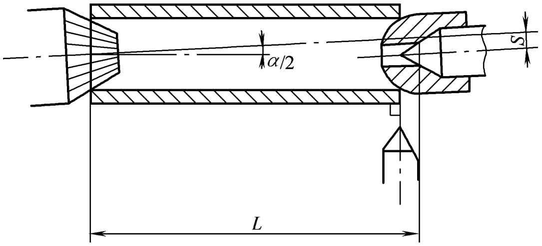


图 7-29　偏移尾座车削圆锥管螺纹（一）

【实例 7-1】　圆锥管螺纹的简易切削方法实例

在车床上车削 R3/4 的圆锥外螺纹，每英寸 14 牙，总长度为 250mm 的连接管。由于批量很大，今拟将工件装夹在三爪自定心卡盘上，采用偏移尾座的方法加工。其操作步骤和方法为：

1）按工件长度下料，(250 ±0.2) mm。

2）将工件一端套装在开口夹套内，装夹在三爪自定心卡盘上，另一端通过球面顶套用活顶尖顶住。

1. 计算尾座偏移量。

1）测量工件装夹点到活顶尖有效顶点的长度 L_0。

2）假定实测长度 $L_0=200\text{mm}$，由于圆锥管螺纹的锥度为 1∶16，所以它的圆锥半角函数为

$$\tan\frac{\alpha}{2}=\frac{1}{16\times2}=0.00313$$

则 $$S=L_0\tan\frac{\alpha}{2}=200\times0.00313\text{mm}=0.626\text{mm}$$

2. 调整尾座偏移量

将尾座向内移动 0.626mm 后，分别夹紧和顶紧工件，如图 7-30 所示。

3. 车螺纹

1）用机动进给车削螺纹外圆锥，其长度应保证螺纹的有效长度。

2）调节进给箱移动手柄到每英寸 14 牙位置上。

3）试切螺纹，检测螺距后再进行正式切削螺纹。

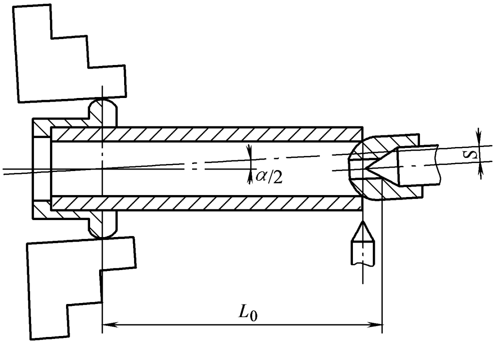


图 7-30　偏移尾座车削圆锥管螺纹（二）

用偏移尾座的方法，可采用切削螺纹的一般方法车削圆锥管螺纹，使操作简单，质量可靠，但应注意以下几点：

1）螺纹车刀在装夹时，刀尖角的平分线必须与工件轴心线垂直，即与主轴的旋转中心偏移一个角度 $\alpha/2$，才能保证工件螺纹牙型的正确性。

2）尾座偏移量 S，按 $S=L_0\text{tam}\dfrac{\alpha}{2}$计算，其中 L_0 为工件装夹的实际长度，α 为圆锥管螺纹的锥度。

3）为保证工件端面装夹位置的一致性，工件总长度应保持一致，使工件装夹长度 L_0 不发生变化。而在用三爪自定心卡盘装夹工件时，还应注意：

①螺纹加工完成后，在卸下工件前，应记住这时尾座套筒的刻线位置。

②顶尖后退，松开三爪自定心卡盘，将工件卸下。

③将待加工工件装入开口夹套的底部，靠紧台肩，共同装入接近合拢的三爪自定心卡盘内，用顶尖推进工件，在到达尾座套筒原来的刻线位置后，再用卡盘夹紧工件，顶尖顶牢后再进行切削。

④这时待加工工件端面处于先前的装夹位置上，使工件装夹长度 L_0 不变，从而保持原来的背吃刀量，以保证螺纹尺寸的稳定性。

4）工件在倾斜状态下，采用车床标定的螺距或每英寸牙数切削时，切削出的实际螺距或每英寸牙数必然会产生螺距误差。

如在采用图 7-30 的方式用车床铭牌为每英寸 14 牙的挡，车削每英寸为 14 牙的圆锥管螺纹。已知圆锥角 1∶16，即 $\alpha/2=1.79°$。由于每英寸 14 牙的米制螺距为

$$P=\frac{25.4}{14}\text{mm}=1.8143\text{mm}$$

那么，切削出的实际螺距 P' 为

$$P'=\frac{P}{\cos\frac{\alpha}{2}}=\frac{1.8143}{\cos 1.79°}=\frac{1.8143}{0.9995}\text{mm}=1.8152\text{mm}$$

其误差为：$(1.8152-1.8143)\text{mm}=0.0009\text{mm}$

即，其螺纹误差很小，可以忽略不计。

7.4　车削其他螺纹

7.4.1　车削梯形螺纹

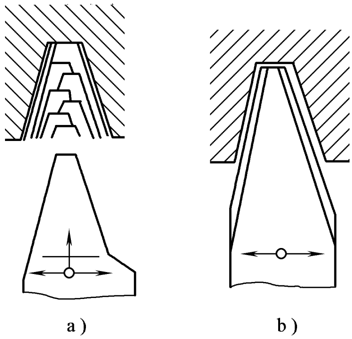
车削梯形螺纹与车削三角形螺纹的方法大体相似，只是由于牙高较深，螺纹车刀的径向切削力较大，所以，在车削螺距较大的梯形螺纹时，多采用粗车刀和精车刀分别进行粗加工和精加工。

梯形螺纹有低速切削和高速切削两种方法。

（1）低速切削梯形螺纹　对精度要求较高的梯形螺纹，以及在修配或单件生产时，常采用低速切削的方法。

当切削螺距小于 4mm 的梯形螺纹时，一般可只用一把车刀，采用直进法并用少量的左右进给，在粗车后再修整车刀，进行精加工成形。

当车削螺距较大的梯形螺纹时，为避免三个切削刃同时参与切削而产生振动，应先用图 7-19a 所示的粗车刀，采用左右赶刀法的进给方式进行粗车，如图 7-31a 所示。在保证牙型高度后，再采用图 7-19b

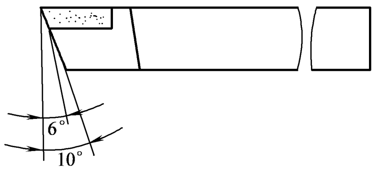


a）　　b）

图 7-31　梯形螺纹的切削方法

a）左右切削法粗车　b）左右切削法精车

所示的精车刀采用直进法进行精加工成形；当螺距很大时，则用径向前角为零、两侧磨有卷屑槽的精车刀，采用左右赶刀的方法精车梯形螺纹，如图7-31b所示。



（2）高速切削梯形螺纹　在车削刚度、精度要求不高的梯形螺纹时，可用硬质合金螺纹车刀进行高速切削。螺纹车刀的几何参数如图7-32所示。采用这种车刀切削时，由于三个切削刃同时参与切削，会产生带状切屑流出，操作很不安全。

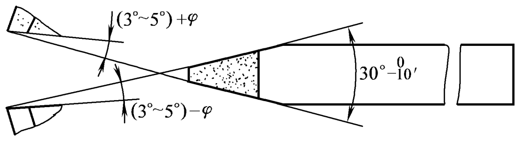


图7-32　硬质合金梯形螺纹车刀

为此，可采用如图7-33所示的螺纹车刀。这种螺纹车刀在前面磨出对称的两个圆弧，使径向前角 γ_p 增大。两圆弧还使前刀面呈3°~5°的屋脊状结构。

这种车刀可减小切削力，增加了车刀的强度，从而减轻了切削振动。同时形成球状切屑，使排屑顺畅。

（3）车削梯形螺纹的操作要点

1）计算牙槽宽，即梯形螺纹精车刀刀尖宽 W。根据表7-5

$$W = 0.366P - 0.536a_c$$

螺纹粗车刀刀尖宽度应小于 W，给精车留有余量。

2）计算牙型高度，即牙型的背吃刀量 h，根据表7-5

$$h = 0.5P + a_c$$

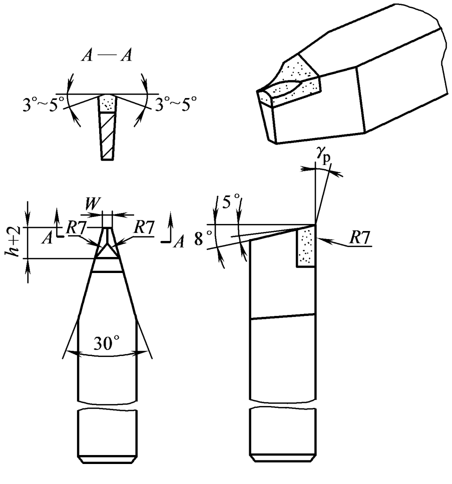


图7-33　双圆弧硬质合金梯形螺纹车刀

一般情况下，在粗加工时，即应达到需要的背吃刀量，保证螺纹的小径尺寸，精加工时，只精车牙型两侧。

3）精车梯形螺纹时，车刀必须始终保持锋利状态，切削速度 $v_c < 5\text{m/min}$，并加注足量的切削液。

4）在低速精车螺纹时，最好采用弹性刀杆，以防止切削振动或扎刀现象。

5）梯形内螺纹一般采用铜合金以及铸铁等脆性金属，比较容易加工。内梯形螺纹车刀刀杆应在内径受限的条件下，尽量加大截面和缩短长度，一般选用整体式高速钢，以提高车刀的强度和刚度。

6）在梯形螺纹车好后，应用细锉刀或磨石修整去除螺纹牙型上的尖角或毛刺。

7.4.2　车削矩形螺纹

1. 矩形螺纹的进刀方式

矩形螺纹的进刀方式如图 7-34 所示。当车削螺距小于 4mm 的矩形螺纹时，用一把车刀一次直进完成，如图 7-34a 所示。当螺距较大时，先用直进法粗车，牙型两侧各留 0.2～0.4mm 的精车余量，再用精车刀采用直进法精车，如图 7-34b 所示。当车削螺距很大的矩形外螺纹时，采用直进法粗车至螺纹小径，牙型两侧留有余量后，再用类似左、右偏刀的精车刀，分别精车螺纹的两侧面，如图 7-34c 所示。

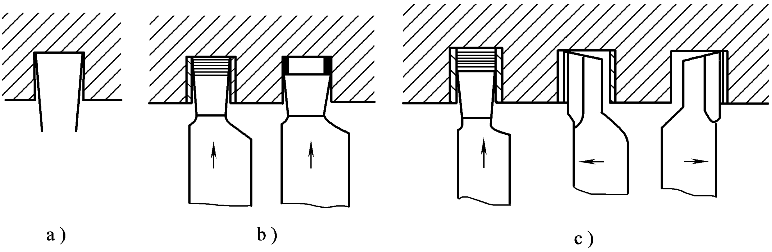


图 7-34　矩形螺纹的进刀方式
a）一次直进　b）二次直进　c）左右精车法

2. 车削矩形螺纹的操作要点

1）矩形螺纹车刀与车槽刀有相似之处，只是由于受到较大的螺纹升角的影响，两侧的主后角应随着螺纹升角而倾斜，如图 7-20 所示。

2）在采用直进法精车矩形螺纹时，在主切削刃两侧应磨有径向修光刃，以提高牙型两侧的表面质量。

3）在采用直进法精车矩形螺纹时，应连续作业、一气呵成，以防止因温度变化产生车刀接刀的错位误差。

4）矩形螺纹的径向定位精度是靠外螺纹和内螺纹的大径 d 和 D 的相互配合保证的。所以，在车削矩形螺纹时，除了保证牙型两侧的轴向配合精度外，还应保证外螺纹大径 d 和内螺纹大径 D 的尺寸精度，以保证相互配合的径向定位精度。

【实例 7-2】　径变螺杆的加工工艺实例

径变螺杆如图 7-35 所示。工件材料为 40Cr，螺距 $P = 36$mm，螺杆大径呈圆柱体，小径则由右向左逐渐变小，呈圆锥体，是送料的推进装置。它要求表面光洁，最后经过氮化处理，以提高工件表面硬度和耐磨性。

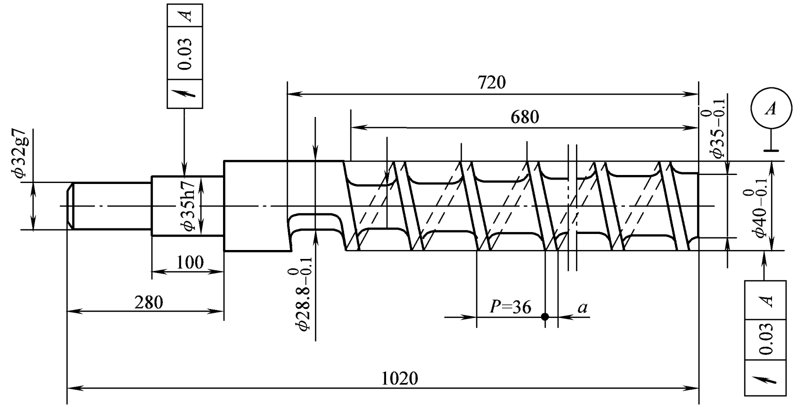


图 7-35　径变螺杆

（1）工艺分析　根据工件的结构特点，可以看出，它具有矩形螺纹的基本特征。加工径变螺杆的工艺分析为：

1）螺杆小径为断续的圆锥体，由于圆锥角不大，应采用偏移尾座的方法加工螺纹牙型。

2）由于螺纹牙型起送料的推进作用，没有配合要求，所以采用偏移尾座方法斜向切削螺纹时，其斜向倾角较小，切削的实际螺距与车床标定的螺距误差很小，故忽略不计。

3）螺纹牙型被切削的部分较大，应采用分层切削和左右赶刀相结合的进刀方式。

4）由于螺纹的切削量较大，应采用一夹一顶的装夹方式，以增强工件的刚度，从而可增大径向进给量，提高切削效率。

（2）加工工艺过程　根据我们在车削径变螺杆的实践体会，将其加工工艺路线归纳如下：

1）下料粗车。按常规粗车外圆各部，留加工余量 2～3mm。

2）热处理。调质 217～286HRB。

3）半精车外圆。

①打两端中心孔，其中一端为 R 形中心孔。

②将工件装夹在两顶尖间，半精车 $\phi40$mm 和 $\phi32$mm，留加工余量 0. 2～0. 5mm。

③在螺纹末端的标定位置上铣出宽度等于牙槽宽、深度为小径终端尺寸，斜度等于螺纹升角的斜槽，以便于退刀。

4）计算尾座偏移量 S

①用内弧面开口夹套将工件装夹在三爪自定心卡盘内，活顶尖顶住工件另一

端的 R 形中心孔，使工件处于自如的稳定状态，以消除切削过程中产生的交变应力引起的弯曲变形，如图 7-36 所示。

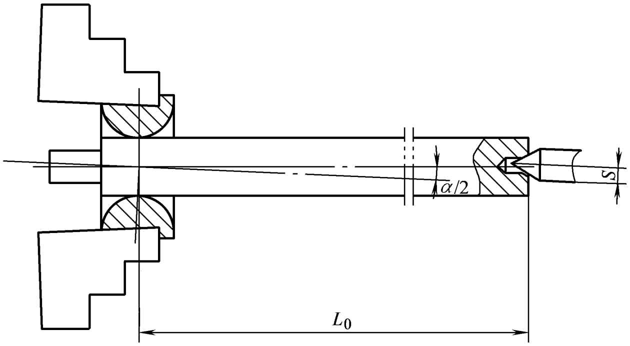


图 7-36　变径螺杆的装夹

②计算螺纹小径断续圆锥面的圆锥角

$$\tan\frac{\alpha}{2}=\frac{D-d}{2\times L}=\frac{35-28.8}{2\times 680}=0.0046$$

③计算尾座偏移量 S。先测量工件装夹位置到端面的长度 L_0，如测量出 $L_0=820\text{mm}$，则：

$$S=L_0\tan\frac{\alpha}{2}=820\times 0.0046\text{mm}=3.772\text{mm}$$

5）粗车螺纹牙型。

①将尾座外移计算出的尾座移动量 S，并随之前移顶尖，以防止工件脱落。

②调整进给箱移动手柄到螺距 P 的位置上。

③用两端带有与牙槽圆弧相同的宽刃圆弧车刀，并调整到退刀槽的宽度范围内。

④以螺纹末端为横向进给的起始点开始进刀。由于螺纹牙槽的宽度较大，为加大在粗加工时的吃刀量，采用分层切削的方法，在切削每层时，摇动小滑板手柄，使车刀沿着每层底面向一个方向逐次移动，只有主切削刃和一个侧面参与切削，使切削顺畅，则可以适当增大每次的切削量，如图 7-37 所示。

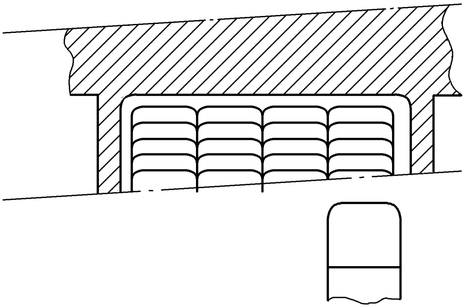


图 7-37　分层切削变径螺杆

⑤牙型各面均留有 0.1～0.2mm 左右的单边精车量。

6）精车螺纹牙型

①修研宽刃圆弧车刀，精车牙型小径达到尺寸精度和表面质量的技术要求。

②改用主切削刃端部带有与牙槽圆弧相同的左偏刀和右偏刀，分别精车牙型两侧面。偏刀主切削刃与工件轴线垂直，进刀时应注意与牙槽底面作无痕迹地衔接，使牙型各面均达到技术要求。

7）精车各部外圆。

①卸下工件，在工件螺纹端部套与同轴度精度很高的开口铜套装夹在卡盘上，在螺纹末端整圆处架设中心架，找正工件的侧母线和上母线后，检测和修整这一侧的中心孔。

②工件装夹在两顶尖之间，先粗车 ϕ35mm 的台阶，再分别精车 ϕ40mm、ϕ35mm 和 ϕ32mm，达到技术要求。

③倒角，并用细磨石清除牙尖毛刺。

④必要时，抛光牙型底槽。

7.4.3 多线螺纹的切削

多线螺纹是在圆柱面上轴向等距分布着两条或两条以上的螺旋线形成的螺纹。多线螺纹常用于快速移动机构中。

多线螺纹的表示方法为：普通多线三角形螺纹由螺纹特征代号×导程/线数表示，如 M24×4/2、M16×6/3 等；多线梯形螺纹由螺纹特征代号×导程（螺距）表示，如 Tr36×12(P6)、Tr20×6(P2)等。

车削多线螺纹，除遵循车削单线螺纹的基本操作方法外，根据多线螺纹的结构形式，还有以下切削特点。

1. 多线螺纹的切削特点

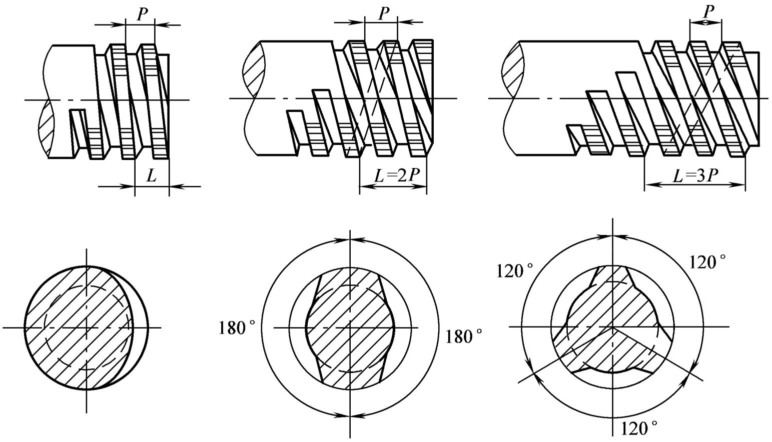
1）多线螺纹的导程 L 是在同一条螺旋槽上相邻两牙，在中径线上对应点间的轴向距离，即每旋转一周时，螺旋槽移动的距离是导程 L。它和螺距 P 的关系是：$L=nP$，其中 n 为螺纹线数。所以在计算交换齿轮时，应以 L 替代 P。

2）螺纹升角 φ 应根据导程计算，即 $\tan\varphi=\dfrac{L}{\pi d_2}$。由于多线螺纹导程一般都比较大，所以螺纹升角 φ 比单线螺纹大得多，因此应特别注意螺纹升角 φ 对螺纹车刀两侧刃后角的影响，即在刃磨或装夹车刀时，进给方向的切削刃后角应增大一个螺旋升角 φ，相背方向的切削刃后角则减小一个螺旋升角 φ。

3）多线螺纹螺旋线的分布特点是：在轴向上等距分布，在端面上是等角度分布，如图 7-38 所示。因此，为保证等距精度误差或等角度误差，必须进行精确的分线操作，以保证内、外螺纹的配合精度。

4）车削多线螺纹一般分粗车和精车两步进行。当粗车完成后，再进行精

车，以保证各牙型的一致性。



单线螺纹　　双线螺纹　　三线螺纹

图 7-38　单线和多线螺纹

2. 多线螺纹的分线方法

多线螺纹的分线，俗称分头，常用的分线方法有以下几种：

（1）利用小滑板分线　用小滑板使车刀每次轴向平行移动到下一个螺旋槽位置的方法。先把小滑板导轨找正到与主轴轴线平行，在车好一条螺旋槽后，使小滑板向一个方向轴线移动一个螺距后，再车下一个螺旋槽。具体移动方法为：

1）用小滑板手柄刻度移动分线。当车削另一条螺旋槽时，可摇动小滑板，用手柄刻度控制横向移动量。

在车削米制螺纹时，小滑板刻度盘转过的格数为

$$K=\frac{P}{a} \tag{7-44}$$

式中　K——刻度盘转过的格数；

P——工件螺距（mm）；

a——小滑板刻度盘每格移动量（mm）。

在车制英制螺纹时，螺纹螺距均为小数，计算出的格数也不是整数，很难精确分线。这时可将小滑板扳动一个角度，使小滑板移动的格数凑成整数的操作方法。

具体操作步骤和方法是（图 7-39）：

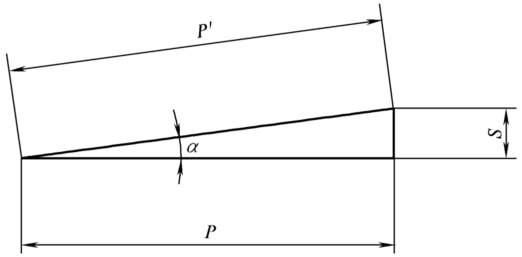


图 7-39　多线螺纹分线用图

①将英制螺纹每英寸牙数换算成米制螺纹 P。

②用式（7-44）计算小滑板刻度盘应转过的格数 K。

③由于 K 不是整数，故选定与米制螺距相近，又是小滑板每格移动量的整数倍的变通螺距 P'，求出小滑板应扳动的角度 α。

④计算车削变通螺距 P'时，刻度盘应转过的格数 K'。

⑤将小滑板扳动角度 α，并按计算出的 K'值摇动小滑板手柄，车削另一条螺旋槽。

⑥由于车刀的斜向移动，使中滑板原来背吃刀量的刻度发生变化，因此，还应计算背吃刀量刻度值的变化量 S。

用小滑板刻度分线方法，操作比较简单，但由于丝杠等的传动误差，其分线精度不高，多用于多线螺纹的粗车。

2）用量块或百分表分线。当车削等距精度要求较高的多线螺纹时，可用量块或百分表控制小滑板移动距离分线，如图 7-40 所示。

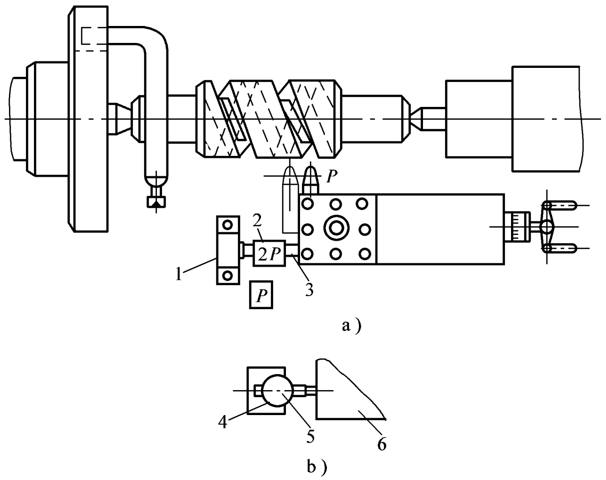


图 7-40　用量块或百分表分线

a）利用量块分线　b）利用百分表分线

1—挡块　2—量块　3—触头　4—磁性百分表座　5—百分表　6—刀架

用量块分线时，在固定床鞍后，分别在床鞍和小滑板适当位置上，装上挡块 1 和触头 3，中间放入并贴紧厚度等于螺纹螺距的一块或一组量块 2，如图 7-40a 所示。在完成第一条螺旋槽后，将一块量块取出，移动小滑板，触头移动到位后，进行下一条螺旋槽的切削。

当螺距大时，可后退刀架，将挡块 1、量块 2 放置在小滑板导轨上，进行分线操作。

在用百分表分线时，把磁性百分表座 4 固定在床鞍适当位置上，百分表 5 的测头触及刀架的侧端，调零后，使小滑板轴向移动螺距的距离，即可达到分线目的，切削下一条螺旋槽。但由于受到百分表量程的限制，一般只能控制 10mm 以内的移动量。

用量块或百分表，比用小滑板手柄刻度精确，但必须校正小滑板导轨，使之与工件轴线平行；而在使用百分表分线时，应经常观察百分表的指针是否变动。

利用小滑板分线的方法，都属于轴向分线法。

（2）用卡盘卡爪分线　在用两顶尖装夹工件时，可用卡盘卡爪分线。装夹工件的鸡心夹头靠卡盘卡爪拨动工件旋转，当车好一条螺旋槽后，松开尾座顶尖，将工件取下，使鸡心夹头转换一个卡盘卡爪的拨动位置后，进行下一条螺旋槽的切削。这样，在三爪自定心卡盘上可分三线螺纹，在四爪单动卡盘上可分双线和四线螺纹。

在采用卡盘卡爪分线时，鸡心夹头与各卡爪侧面的接触点，应与卡爪侧面的旋转方向垂直，即选用一端弯曲的鸡心夹头，以防止卡盘的拨动力引起工件的径向变形。

由于卡盘卡爪本身的等分精度不高，所以，这种分线方法的分线精度也很低，只适用于多线螺纹的粗加工。

（3）用分度插盘分线　图 7-41 是安装在主轴上车削多线螺纹的专用分度插盘。在分度盘 4 上一般有 12 个等分精度很高的定位插孔 3，与定位销 7 精密配合。这样，可分 2、3、4、6 及 12 线螺纹。

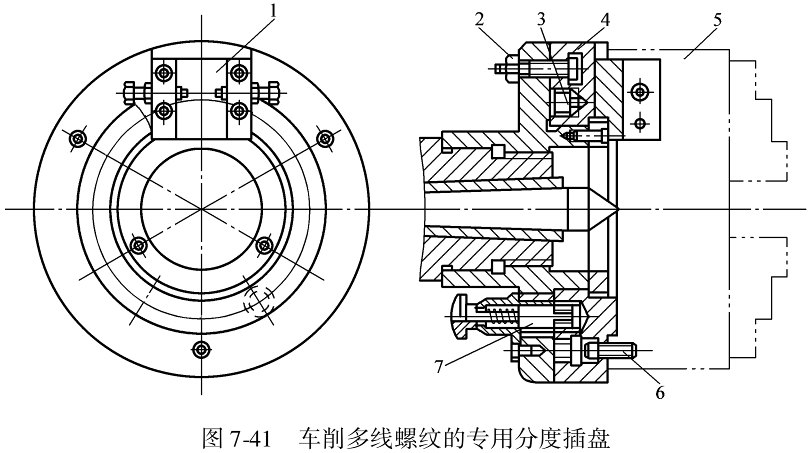


图 7-41　车削多线螺纹的专用分度插盘

1—拨块　2—螺母　3—定位插孔　4—分度盘　5—卡盘　6—螺钉　7—定位销

分度盘可以用拨块 1 拨动鸡心夹头，用两顶尖装夹工件；也可以用螺钉 6 与卡盘 5 连接，用卡盘装夹工件。

当一条螺旋槽车好后停车，松开螺母 2，拔出定位销 7，将分度盘 4 旋转一定的角度后，将定位销 7 插入所需要的定位插孔 3 内，紧固螺母 2 后，即可车削下一条螺旋槽。

分线插盘结构简单，容易制作，使用范围较广，是车削多线螺纹的常备分线装备。这种分线方法，操作方便，分线精度高，如果将定位销 7 与定位插孔 4 改用圆锥面定位，其分线精度更高，是较为理想的分线方法之一。

（4）用交换齿轮分线　从车床传动系统图上，我们发现：在交换齿轮箱内的主轴交换齿轮 Z_1 的转速与主轴同步，所以齿轮 Z_1 又称为主轴交换齿轮。当 Z_1 的齿数是螺纹线数 n 的整数倍时，就可以将 Z_1 的齿数平均分成几等分。在车好第一条螺旋槽时，如果使齿轮 Z_1 与齿轮 Z_2 脱开后，将 Z_1 旋转 $1/n$ 周时，主轴和工件也随之旋转了 $1/n$ 周。这种情况是在齿轮 Z_2 以下到车床丝杠直至车刀是在静止的状态下发生的。那么，当工件旋转一周时，工件相对于车刀移动的距离是一个导程 L，那么当工件旋转 $1/n$ 时，根据 $L\times\frac{1}{n}=P$，工件相对于车刀移动了一个螺距。这样，使车刀对准下一条螺旋槽位置，使交换齿轮 Z_1 的圆周的等角度分线，转换成轴向的等距离分线，达到交换齿轮分线的目的。

用交换齿轮分线的操作方法，以在 C6127 型车床上车削三线螺纹的分线操作为例，加以说明，如图 7-42 所示。

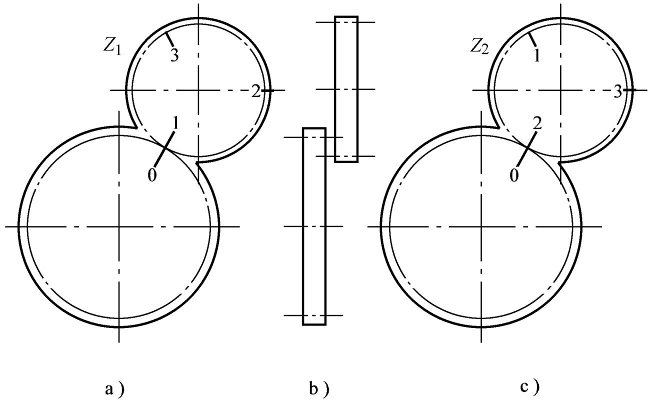


图 7-42　用交换齿轮分线方法

1）查得车床交换齿轮 Z_1 的齿数为 $Z_1=36$ 齿。

2）将齿轮 Z_1 每隔 12 齿做 3 等分记号和齿轮 Z_2 的原位记号，如图 7-42a 所示。

3）卸下端面挡垫，将齿轮 Z_2 沿轴外移，与齿轮 Z_1 脱开，并保持圆周位置不变，如图 7-42b 所示。

4）用手盘动卡盘，使下一个 Z_1 的等分记号与 Z_2 的原位记号对准啮合组装后，即可车削下一条螺旋槽，直到依次分线完毕，如图 7-42c 所示。

5）为了减少分线误差，在分线时，齿轮 Z_1 应始终向一个方向扳动。

根据相同的道理，必要时也可利用主轴箱内与主轴同轴的某个齿轮分线。如 CA6140 型车床主轴箱内，啮合器 M2 的齿轮 Z_1 齿数为 50，它与主轴同轴，即可做 5 线螺纹的分线操作。

具体操作方法时是：先对齿轮 Z_1 做 5 等分的记号和相互啮合的齿轮 Z_2 的原位记号，扳动主轴箱操纵手柄，使啮合器 M_2 分离，齿轮 Z_1 与齿轮 Z_2 脱开，即切断主轴与丝杠系统的传动后，再扳动卡盘，使主轴空转 1/5 周，使齿轮 Z_1 的下一个记号对准 Z_2 的原位记号时，把 M_2 结合，齿轮 Z_1 和 Z_2 重新啮合，即可车削下一条螺旋槽。

以上几种分线方法的分线精度和操作简繁各有不同。在实际操作中往往采取综合利用的分线方法，取长补短。如在粗加工时采用操作简单但分线精度不高的分线方法，留有足够的精加工余量后，再采用分线精度不高的分线方法。

（5）借助乱扣盘分线　以乱扣盘蜗轮的齿数是螺纹线数的整数倍为前提，当螺纹线数是螺纹乱扣数的整数倍时，可借助乱扣盘分线。如蜗轮齿数为 24 齿时，可以借助乱扣盘，对 2、3、4、6 的多线螺纹进行分线操作。

我们知道，当乱扣盘蜗轮为 24 齿时，刻度盘有 6 长 6 短共 12 条刻线。由于丝杠每旋转一周，带动蜗轮旋转一个齿时，都有一次开合螺母与丝杠啮合的机会，那么，蜗轮在旋转一周时，有 24 次合闸机会，即除刻线外，在每两条刻线间的位置上都能合闸。但当螺纹乱扣数为 2 以上时，每次合闸后，车刀有 2 条以上的通道。我们就是设法使这些通道梳理成有序的通道，作为多线螺纹分线的理论基础。比如说，当车削线数为 6，乱扣数为 2 的多线螺纹时，如果是单线螺纹，只要在刻线处合闸，车刀必然行进在同一条通道上。但是当车削线数为 6 的多线螺纹时，车刀应分别有 6 条通道。第一条通道由蜗轮 1/4 的齿数（每隔 6 齿）形成，即每逢 0、3、6、9 合闸。以下的通道，则分别顺延 1、2、3、4、5、6 齿，分别以此齿为起点，在每隔 6 齿处合闸，从而形成其余的 5 条通道。

将蜗轮的运作状况，反映到乱扣盘的刻度盘上。为便于操作，可根据螺纹各线的合闸位置，制作一块醒目的刻度盘，粘贴在原刻度盘相应的位置上。下面以实例说明借助乱扣盘分线的操作过程。

例 28：在车床丝杠 $P_{丝}=6\text{mm}$ 的车床上，车削 Tr28 ×8（P2）的多线梯形螺纹，是否可借助乱扣盘分线，应怎样操作。

解：1）先求乱扣数。工件螺距 $P_{工}=2\text{mm}$，线数 $n=4$，根据

$$i=\frac{nP_{工}}{P_{丝}}=\frac{2\times4}{6}=\frac{4}{3}$$

即乱扣数为 4。

可以看出，螺纹线数是乱扣数的整数倍，可以借助乱扣盘分线。

2）根据乱扣盘的运作机理，蜗轮每隔 4 齿合闸，即可形成车刀第一条通道，再分别顺延 1、2、3、4 齿，形成其余的 3 条通道。我们重新制作如图 7-43 所示的刻度盘，依次标出相应的通道数字。必要时，可用对比度明显的色彩区分。

3）这样，在逢 1 时合闸，形成第一条通道，在逢 2 时合闸，形成第二条通道等。

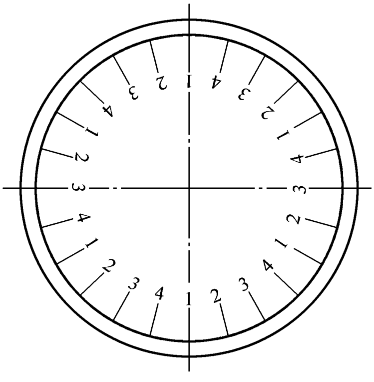


图 7-43　借助乱扣盘分线方法图解

采用借助乱扣盘分线的操作特点是：

1）每逢 1 处合闸，连续重复进刀操作，完成粗车后，再分别在 2、3、4 处合闸，分别车出第二条、第三条和第四条螺旋槽的粗车，再依次进行精加工。

2）车工熟手也可以并驾齐驱，循环操作。在逢 1 处合闸切削后，再用相同的背吃刀量，依次在 2、3、4 处合闸，几乎在同时完成各螺旋槽的粗加工和精加工。

3）分线精度高。

4）切削效率高，但操作紧张、紧凑。因此，这种操作方法要求操作者除具有纯熟的操作技能外，还应有较好的心理素质，在操作中应聚精会神、手疾眼快、准确果断、有条不紊，不能出任何差错。

【实例 7-3】　英制多线螺纹的分线方法实例

车削导程为每英寸 2 牙的英制 5 线螺纹，采用小滑板刻度盘分线，已知小滑板刻度盘每格移动量 $a=0.05\text{mm}$，应如何分线。

解：1）根据换算关系将英制螺纹每英寸牙数，换算成米制螺纹 P

$$P=\frac{25.4}{\text{导程}\times\text{线数}}=\frac{25.4}{2\times5}=2.54\text{mm}$$

2）用式（7-44）计算小滑板应转过的格数 K

$$K=\frac{P}{a}=\frac{2.54}{0.05}=50.8\text{ 格}$$

3）选定变通螺距 $P'=2.55\text{mm}$，求出 P' 与 P 的夹角，即小滑板应扳动的角度 α

$$\cos\alpha=\frac{P}{P'}=\frac{2.54}{2.55}=0.9961\qquad\alpha=5.076°$$

4）变通螺距 $P'=2.55\text{mm}$，在 α 进给状态下，应转过的格数为

$$K' = \frac{P'}{a} = \frac{2.55}{0.55} = 51 \text{ 格}$$

5）将小滑板逆时针扳到 5.075°，按 51 格向前摇动小滑板刻度后，车削下一条螺旋槽。

6）根据图 7-39，求出中滑板刻度值的变化量

$$S = P' \times \sin\alpha = 2.55 \times \sin 5.076° = 0.2256\text{mm}$$

由于小滑板沿逆时针方向扳动，所以车刀在向前移动过程中，相对于径向作 0.2256mm 的后退，所以，在车削下一条螺旋线背吃刀量的中滑板刻度值，应比原来的刻度值增加这个变化量，以保证各螺旋槽牙型高度一致。

3. 多线螺纹的切削要点

1）多线螺纹交换齿轮计算时，应将单线螺纹计算式中的螺距 $P_{工}$ 或工件每英寸牙数换成导程 L 或 $nP_{工}$。如在用米制车床车削米制螺纹时，车削多线螺纹交换齿轮的计算公式为

$$i = \frac{Z_1}{Z_2} \times \frac{Z_3}{Z_4} = \frac{L}{P_{丝}} = \frac{nP_{工}}{P_{丝}} \tag{7-45}$$

2）根据螺距等距精度选择分线方法。

3）一般分粗车和精车两步操作。粗车深度应保证牙型高度，并在两侧留有精车余量后，再统一进行精车，以保证各个牙型的一致性。

4）在粗车或精车第一条螺旋槽后，应记住中滑板（和小滑板）的刻度值；如中途磨刀或换刀，应重新对刀后，记住背吃刀量的刻度值，以便在车以后的螺旋槽时，保持相同的切削深度。

7.5　螺纹测量和切削缺陷分析

7.5.1　螺纹测量技术

螺纹的主要测量参数有螺距、大、小径和中径的尺寸，由于外螺纹大径和内螺纹小径的公差都比较大，所以主要是测量螺纹的螺距和中径尺寸。

螺纹的测量方法有单项测量和综合测量两类。

1. 单项测量法

单项测量法是用量具测量螺纹的某一项参数。

（1）测量螺距　前面讲过，在螺纹试切时，就应用钢直尺、卡尺或螺距规对螺距进行测量。

机床或测量仪器上所用的精密丝杠，如精密车床的母丝杠、坐标镗床和工具显微镜上的传动丝杠等，都要求传递很高的位置精度，它通过螺距误差反映出

来。单个螺距误差是指螺纹牙型中径处，相邻两牙同侧的轴向实际距离与理论距离之差。通常除测量单个螺距误差外，还测量若干个牙螺距的积累误差。

测量螺距比较简单的方法是机械式测量方法。单个螺距误差和螺距积累误差的测量工具如图 7-44 所示。测量时，将 V 形架 3 跨在丝杠 1 上，以丝杠外圆定位。固定测头 2 和活动测头 4 的测量端分别于被测牙中径处同一侧面上，活动测头 4 另一端与测微仪 5 接触。测量前，用量块或标准丝杠对测量头的距离调整归零，作为标准螺距，测量出的螺距的实际距离由活动测头传递给测微仪显示，与标准螺距进行比较，从而测量出螺距误差，如图 7-44a 所示。

在测量螺距累积误差时，先根据技术要求，将测量工具的两个测量头的距离调整到螺距的某个整数倍，测量出这一跨距的螺距积累误差后，可进行逐牙测量或随机测量，并找出最大差值，即为在这个跨距范围内螺距的最大积累误差，如图 7-44b 所示。

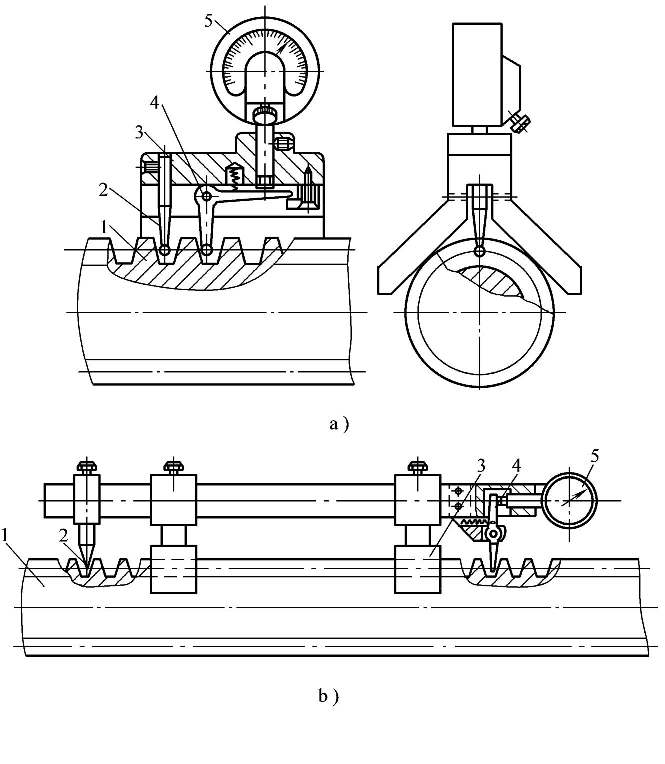


图 7-44　螺距测量工具

1—丝杠　2—固定测头　3—V 形架　4—活动测头　5—测微仪

螺纹精度要求很高的丝杠类工件或内螺纹的螺距，还可采用万能工具显微镜

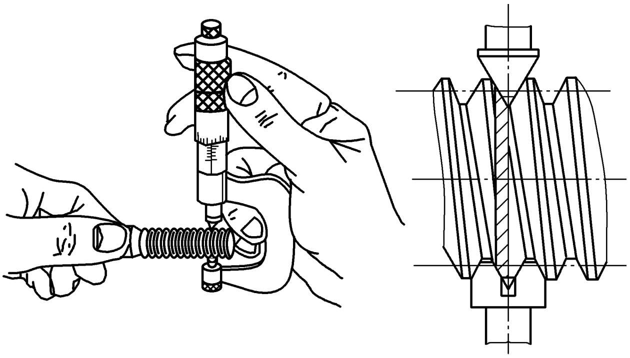
或激光等测量方法。

（2）螺纹大、小径的测量　一般可用游标卡尺或千分尺测量外螺纹大径 d 和内螺纹小径 D_1 的尺寸。

（3）测量螺纹中径　螺纹中径 d_2、D_2 的尺寸精度要求较高，它们的加工误差大小，直接决定着螺纹的配合精度。在实际操作过程中，除了按操作规范对螺纹中径进行有效地控制外，还应对中径进行测量。测量螺纹中径的常用方法有以下几种：

1）用螺纹千分尺测量。螺纹千分尺是在外径千分尺的测杆和砧座上分别设置可安装测量头的孔。测量头有 60°和 55°两套，适用于不同牙型角和不同螺距。在更换合适的测量头对合后，必须调整它们的相对位置，使千分尺对准零位。

测量时，与螺纹牙型角相同的上、下两个测头，正好卡在螺纹的牙侧上，如图 7-45 所示。由于上测量头与螺纹的牙槽吻合，下测量头则对称跨在牙型两侧，所以，各测量点的对称线与千分尺的测量轴心重合，因此，千分尺所测得的读数，就是螺纹中径的实际尺寸。



a）　　　　　　b）

图 7-45　螺纹千分尺及其测量原理

a）螺纹千分尺　b）测量原理

用这种方法，只能测量单线或奇数多线三角形外螺纹的中径。

2）三针法测量。螺纹精度要求较高的螺纹和梯形螺纹以及蜗杆，可采用三针法测量螺纹中径，如图 7-46 所示。

三针法测量的螺纹中径的基本方法是：

①查表或根据有关计算式求出螺纹中径 d_2。

②根据螺距 P，计算出量针直径 d_D。量针的最佳直径是测量量针外圆与螺纹中径的牙侧相切。量针的直径过大时，量针外圆不能和螺纹牙型侧面相切，太小时，量针顶点低于螺纹牙顶，无法测量，如图 7-47 所示。确定量针直径可用

下式计算

$$d_D = \frac{P}{2\cos\frac{\alpha}{2}} \tag{7-46}$$

式中　d_D——量针直径（mm）；

P——工件螺距（mm）；

α——螺纹牙型角（°）。

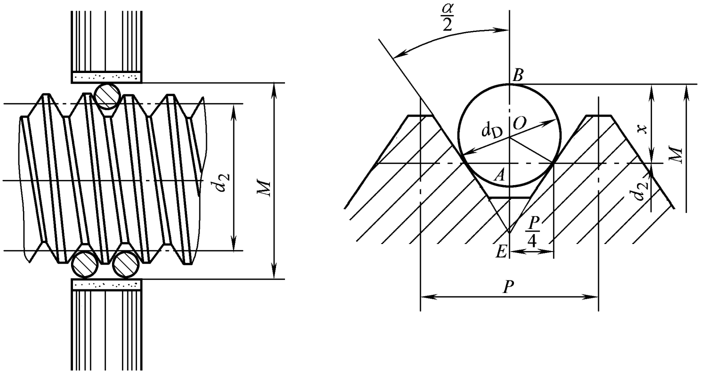
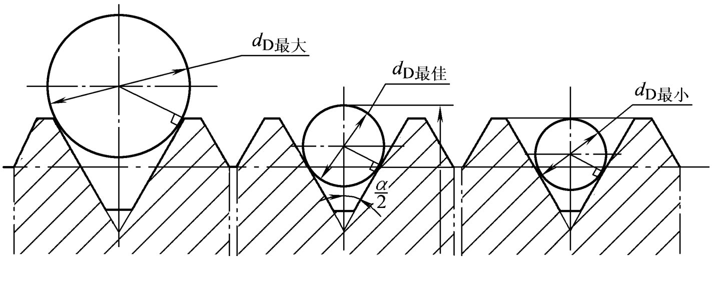


图 7-46　三针法测量螺纹中径



a）　　b）　　c）

图 7-47　钢针直径的选择

a）最大钢针直径　b）最佳钢针直径　c）最小钢针直径

③测量和确定螺纹中径 d_2'。将三根量针顺着螺旋槽方向分别平行放置在螺纹两侧相对应的螺旋槽内，用千分尺量出量针两侧顶点之间的长度值 M，用下式计算测量出的螺纹中径 d_2

$$d_2' = M - d_D\left[1 + \frac{1}{\sin\frac{\alpha}{2}}\right] + \frac{P}{2}\cot\frac{\alpha}{2} \tag{7-47}$$

式中　d_2'——测量出的螺纹中径（mm）；

M——千分尺测出的尺寸（mm）；

d_D——量针直径（mm）；

α——螺纹牙型角（°）；

P——工件螺距（mm）。

为便于计算，将以上计算式简化成表 7-12 的形式

表 7-12　常见螺纹三针测量简化计算公式

螺纹牙型	量针最佳直径 d_D	测量出的螺纹中径 d_2'
60°(普通螺纹)	$0.577P$	$M-3d_D+0.866P$
55°(英制螺纹)	$0.564P$	$M-3.166d_D+0.961P$
30°(梯形螺纹)	$0.518P$	$M-4.864d_D+1.866P$
29°(英制梯形螺纹)	$0.516P$	$M-4.994d_D+1.933P$

注：P 为螺纹螺距。

④当测量较大的螺距，千分尺测量杆不能同跨两根量针时，可用公法线千分尺测量，如图 7-48 所示。

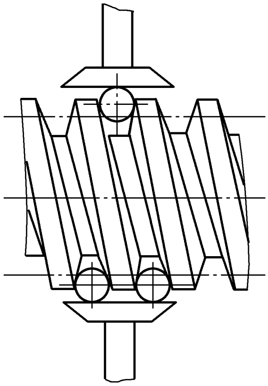


图 7-48　用公法线千分尺测量

例 29：用三针法测量 Tr＝50×12 的 30°梯形螺纹，量针直径 $d_D=0.5177P=0.5177\times12\text{mm}=6.212\text{mm}$，测得 $M=51.642\text{mm}$，求测量出的螺纹中径 d_2'。

解：根据表 7-12 查得

$$d_2'=M-4.864d_D+1.866P$$
$$=(51.642-4.8637\times6.212+1.866\times12)\text{mm}$$
$$=43.82\text{mm}$$

查表或计算得，梯形螺纹的标准中径为 $d_2=44\text{mm}$。

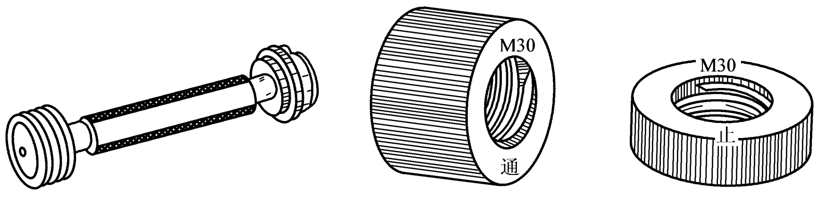
螺纹中径的加工误差为

$$d_2'-d_2=(43.82-44)\text{mm}=-0.18\text{mm}$$

2. 综合测量法

综合测量法是用螺纹量规对螺纹主要参数进行综合性能检测，从而检验在使用时相互配合的实际精度。

螺纹量规有螺纹塞规和螺纹环规，它们都分通规和止规，如图 7-49 所示。测量时塞规轴线或环规端面应分别与螺纹端面或螺纹轴线垂直。如果通规难以拧入，应对螺纹的各直径尺寸、牙型半角和螺距等进行检查修正后再重新测量。测量时，拧入力应自然柔和，切不可用力过猛，而导致测量不准或影响量规的精度。



a）　　　　b）

图 7-49　螺纹量规

a）塞规　b）环规

在用螺纹量规检测螺纹时，有时会出现通规通不过，而止规通过的现象，其主要原因是螺纹车刀牙型角刃磨不正确引起的。

一般说来，螺纹量规的通规的牙型是完整的螺纹牙型，其中螺纹塞规主要检测螺纹的中径和大径，螺纹环规主要检测螺纹的中径和小径；而螺纹量规的止规的牙型是截短的螺纹牙型，主要检测螺纹的中径。所以，当由于螺纹车刀径向前角的存在或刀尖半角不对称而影响螺纹车刀的刀尖角，或刀尖圆弧半径以及刀尖宽度达不到规定数值时，虽然中径已经超差，但螺纹两侧不正确的牙型，阻碍了螺纹量规通规通过，而止规可以通过的现象。

因此，产生这种现象时，应采取以下修正措施。

1）精车精密螺纹时，必须采用前面为水平面，即径向前角 $\gamma_p=0$ 的螺纹精车刀。

2）当车削一般精度的螺纹时，为便于切削，可适当磨出径向前角，使 $\gamma_p>0$，但必须根据径向前角的大小，根据式（7-23）修正螺纹车刀的刀尖角。

3）螺纹车刀在安装时，必须使刀尖角的等分线垂直于工件中心。

4）正确刃磨螺纹车刀的圆弧半径或刀尖宽度，达到规定所要求的数值。

7.5.2　车螺纹常见操作缺陷分析

车螺纹时常见操作缺陷分析，见表 7-13。

表 7-13　车螺纹常见操作缺陷分析

易出现的问题	产 生 原 因	防 止 措 施
螺距不准	（1）进给箱手柄位置不对或挂轮齿数计算、搭配不对	（1）先车出浅螺纹线，测量螺距是否正确，如不正确，重新调整手柄位置或交换齿轮
	（2）车床主轴或进给丝杠轴向窜动太大	（2）调整主轴轴向轴承及丝杠支撑间隙，调整丝杠与开合螺母的啮合间隙
	（3）反转退刀时，开合螺母被打开过	（3）反转退刀时，不要将开合螺母打开

（续）

易出现的问题	产 生 原 因	防 止 措 施
牙型不准	（1）车刀刀尖刃磨不准 （2）车刀安装位置不正确 （3）车刀磨损	（1）将刀尖角按要求仔细刃磨 （2）重新用螺纹样板对刀，将车刀安装位置调整 （3）刃磨车刀或更换新刀
中径不准	（1）中溜板径向进给量不准 （2）加工时切入深度不准	（1）调整中溜板刻度盘松紧 （2）切入时深度要掌握好
螺纹表面粗糙度差	（1）高速切削时，精加工余量太少或排屑方向不对，将已加工表面拉毛 （2）刀杆刚性不够，切削时产生振动 （3）车刀刃口未刃磨，光洁度或精加工刃口受损 （4）产生积屑瘤	（1）留出足够的精加工余量，改变刀具角度，使切屑不流向已加工表面 （2）使用刚性更好的刀杆 （3）刃磨好车刀的刃口 （4）使用高速钢车刀切削时，应降低切削速度，减小切削厚度，并加注切削液
扎刀	（1）前角太大 （2）横向进给丝杠的间隙太大	（1）减小车刀前角 （2）调整丝杠间隙
牙型紊乱	（1）车床丝杠螺距不是工件螺距的整数倍时，直接启动开合螺母车削螺纹 （2）开倒顺车车螺纹时，开合螺母抬起	（1）应采用开倒车的方法进行车削 （2）调整开合螺母的镶条间隙，也可用重物挂在开合螺母手柄上

第 8 章　蜗杆副的车削操作技术

当两轴呈垂直状态，需要传递较大的传动比时，一般采用蜗杆副传动机构。蜗杆副传动的特点是：可以获得很大的传动比，而且结构紧凑、传动平稳、噪声小以及具有反行程的自锁作用，所以多用于机械装备的各种减速装置。

蜗杆和蜗杆副与标准齿轮的基本参数相同，归类于齿轮传动系列，所以，首先应对齿轮传动的基础知识有所了解。

8.1　齿轮基础知识

齿轮传动机构具有传动比恒定、工作平稳可靠、传动效率高和应用广泛等特点，是传递转矩和传动比的主要传动机构。

齿轮传动的分类按轮齿的形态，可分为直齿圆柱齿轮、斜齿圆柱齿轮、人字齿圆柱齿轮、直齿锥齿轮以及蜗杆副等；按啮合形式有外啮合和内啮合等；按计制有米制和英制等。

8.1.1　齿轮

1. 齿轮的形成

两个摩擦轮的外表面相互接触后，一个轮子转动时，会在摩擦力的作用下，带动另一个轮子转动。但当转矩较大时，会出现打滑现象。为此，人们在两轮表面上设置轮齿，在轮齿的啮合作用下，传递更大的转矩，于是形成了齿轮传动。

2. 齿轮的基本尺寸

标准直齿圆柱齿轮的啮合状况和基本参数如图 8-1 所示。

（1）齿数 Z　在齿轮整个圆周上齿轮的总数称为该齿轮的齿数，用 Z 表示。齿轮齿数由设计决定，可直观查得。

（2）分度圆直径 d　各轮齿的中心线形成齿轮的分度圆，分度圆直径为 d。在分度圆上齿轮的齿槽宽 e 和齿厚 s 相等，即 $e = s$。

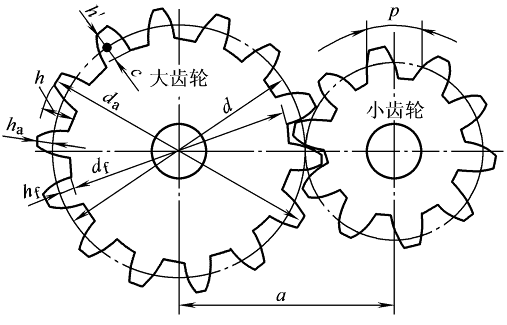


图 8-1　标准直齿圆柱齿轮的啮合状况和基本参数

（3）衡量齿轮大小的参数

螺纹等结构件是用螺距衡量牙型大小的。衡量轮齿大小有以下几个参数：

1）齿距 p。即齿轮在分度圆上的圆弧齿距。将圆弧齿跨展平后，包含了无理数 π，因为齿距 p 均为非整数，所以很难准确测出。

2）模数 m。为便于设计、制造和互换需要，引入模数作为齿轮的标准值。模数 m 是将分度圆上的齿距 p 缩小 π 倍后的数值，即

$$m = \frac{p}{\pi} \tag{8-1}$$

式中　m——齿轮模数（mm）；

p——分度圆上的圆弧齿距（mm）。

对于模数 m，可以形象地描述为：将齿轮的全部齿轮齿数 Z，沿着分度圆直径展开，再等距离地缩小后，放置在分度圆直径内，这时测量出的齿距长度（mm），即为齿轮的模数值 m。这样，模数 m、齿距 p 与分度圆的关系为

$$d = Zm = \frac{Zp}{\pi} \tag{8-2}$$

式中　d——分度圆直径（mm）；

Z——齿轮齿数；

m——齿轮模数（mm）；

p——分度圆上的圆弧齿距（mm）。

模数由设计者根据需要而定，由于模数值多为正整数，以便于计算，所以模数是齿轮几何尺寸的计算基础。模数值是表征齿轮轮齿大小的参数，模数 m 越大，轮齿的齿厚 S_P 越厚，其抗弯曲能力也越强，所以模数又是轮齿抗弯曲能力的重要指标。

3）径节 DP。英制齿轮的重要参数是径节 DP。径节也可形象地描述为：将齿轮的全部轮齿 Z，沿着分度圆直径展平，再等距离地缩小后，放置在分度圆直径内，这时测量每英寸的齿数，即为齿轮的径节 DP，即

$$DP = \frac{Z}{d} = \frac{\pi}{p} \tag{8-3}$$

式中　DP——齿轮径节；

Z——齿轮齿数；

d——分度圆直径（in）；

p——分度圆上的圆弧齿距（in）。

可以看出，径节的大小和英制螺纹相似，与模数则相反，即齿轮的径节数值越大，轮齿的齿厚 S_P 越小，其抗弯能力也越差。

（4）齿顶圆直径 d_a　过齿轮所有轮齿顶端的圆称为齿顶圆，其直径用 d_a 表示。如在标准直齿圆柱齿轮中，由于规定齿顶高 $h_a = m$，所以齿顶圆直径 d_a 为

$$d_a = (Z+2)m \tag{8-4}$$

式中　d_a——齿顶圆直径（mm）；

Z——齿轮齿数；

m——齿轮模数（mm）。

（5）中心距 a　平行的两轴在两圆柱齿轮啮合时的中心距离为中心距 a。中心距是齿轮传动的设计基础。通过中心距 a 和两轴的传动比 i 分别确定两齿轮的分度圆 d 和齿数 Z。它与其他参数的关系是

$$a = \frac{Z_1 + Z_2}{2}m = \frac{d_1 + d_2}{2} \tag{8-5}$$

式中　a——两轴中心距（mm）

Z_1、Z_2——两齿轮齿数；

m——齿轮模数（mm）；

d_1、d_2——两轮分度圆直径（mm）。

在英制齿轮中

$$a = \frac{Z_1 + Z_2}{2DP} = \frac{d_1 + d_2}{2} \tag{8-6}$$

式中　a——两轴中心距（in）；

Z_1、Z_2——两齿轮齿数；

DP——齿轮径节；

d_1、d_2——两轮分度圆直径（in）。

8.1.2　圆柱齿轮的车削加工

1. 车削加工的内容

齿轮在铣齿前，车工需完成所有的铣前车加工。

1）粗车齿轮毛坯件各部。

2）精车内孔。

3）车齿轮齿顶圆直径 d_a。

①根据图样标注车齿顶圆直径尺寸。

②如图样无标注时，可根据表 8-1 计算齿顶圆直径尺寸。

表 8-1　圆柱齿轮齿顶圆直径计算公式

齿轮计制	齿轮类型	齿顶圆直径 d_a	计量单位
米制齿轮	直齿圆柱齿轮	$d_a=(Z+2)m=d+2m$	mm
	直齿内圆柱齿轮	$d_a=(Z-2)m$	mm
英制齿轮	直齿圆柱齿轮	$d_a=\frac{Z+2}{DP}$	in
	直齿内圆柱齿轮	$d_a=\frac{Z-2}{DP}$	in

2. 操作要点

1）齿轮内孔是铣削齿形和安装、使用的定位基准面，所以必须保证内孔尺寸的加工精度和表面质量。

2）齿顶圆直径 d_a 在齿轮工作状态下作用不大，但在铣削齿形时，往往是内孔安装在心轴上定位后，将齿顶圆表面作为参考定位面找正，以及测量齿形弦齿厚的基准。所以，齿顶圆与齿轮内孔应有较高的同轴度精度。

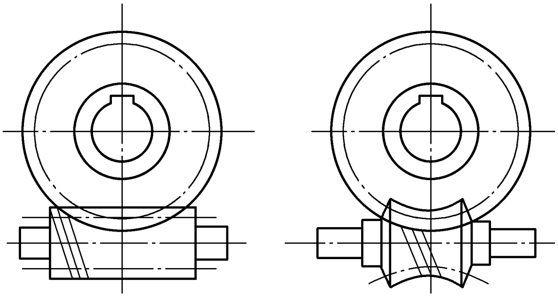
3）为此，齿顶圆直径与齿轮内孔以及某一侧端面通常应在一次装夹时先后车出，以保证齿顶圆直径与齿轮内孔的同轴度，以及某一侧端面与内孔的垂直度，从而保证齿轮分度圆与安装基准的同轴度要求。

8.2　蜗杆和蜗轮的车削操作技术

蜗杆副由蜗杆和蜗轮组成，是用来传递空间两交错轴之间运动的一种机构，又称蜗轮蜗杆机构，简称蜗杆机构。两轴之间的交错角通常为 90°。一般情况下，蜗杆是主动件，蜗轮在蜗杆的啮合带动下被动旋转，所以多用于减速的场合。

蜗杆与蜗轮和标准齿轮一样，都是以模数 m 或径节 P 作为标准参数。

根据蜗杆形状的不同，蜗杆机构可分为圆柱蜗杆机构和圆弧面蜗杆机构，如图 8-2 所示。圆弧面蜗杆与蜗轮的啮合面较大，可降低接触应力，改善啮合性能，减少磨损，但制作较为复杂，一般多采用制作简单的圆柱蜗杆。



a）　　b）

图 8-2　蜗杆机构的类型

蜗杆也有右旋和左旋、单头和多头之分。按计制又分为米制蜗杆和英制蜗杆。应用较广的是右旋蜗杆和米制蜗杆。

蜗杆齿形有轴向直廓齿形和法向直廓齿形两种。轴向直廓蜗杆称 ZA 蜗杆，它的轴向齿廓是直线，而在垂直于轴线的截面内，齿形是阿基米德螺线，又称阿基米德蜗杆。法向直廓蜗杆称 ZN 蜗杆，它在垂直于齿面的法向截面内，齿廓是

直线，而在垂直于轴线的截面内，齿形是延长渐开线，所以又称为渐开线蜗杆。

轴向直廓蜗杆应用较广。

8.2.1　基本尺寸

蜗杆和蜗轮的几何参数如图 8-3 所示。

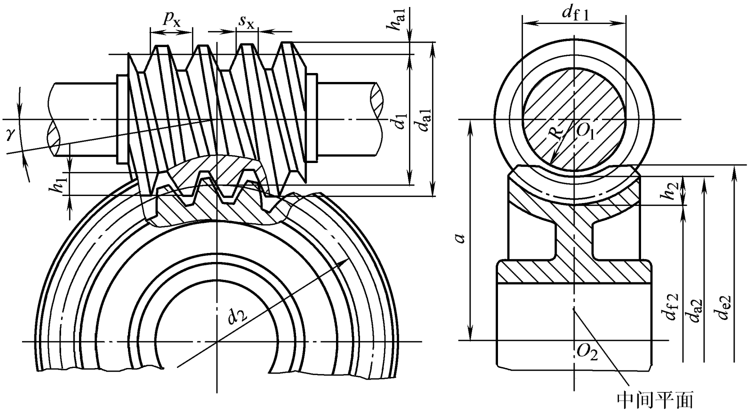


图 8-3　蜗轮和蜗杆机构的几何参数

1. 中间平面

通过蜗杆轴线并垂直于蜗轮轴线的平面，称为中间平面，如图中由 O_1、O_2 通过蜗杆轴线所形成的平面。

蜗轮一般是用与蜗杆形状和参数相同的滚刀按展成原理加工的，那么，在中间平面内蜗轮与蜗杆的啮合就相当于齿轮与齿条的啮合状态，所以，蜗杆机构的设计和计算都以中间平面的参数和几何关系为准。

2. 主要参数

根据中间平面概念，米制蜗杆机构的主要参数为：

（1）模数　模数概念与齿轮相同，也是表征轮齿大小和抗弯能力的重要指标。在蜗杆机构中，蜗杆的轴向模数 m_{x1} 与蜗轮的端面模数 m_{t2} 相等，并为标准值 m，即

$$m_{x1} = m_{t2} = m \tag{8-7}$$

（2）齿形角　齿形角即蜗杆的压力角。蜗杆的轴向齿形角 α_{x1} 等于蜗轮的端面齿形角 α_{t2}，并为标准值 α，即

$$\alpha_{x1} = \alpha_{t2} = \alpha = 20° \tag{8-8}$$

即：牙型角为 40°。

（3）齿距　蜗杆的轴向齿距 p_x 等于蜗轮的端面齿距 p_t，并为标准值 p，即

$$p_x = p_t = \pi m \tag{8-9}$$

（4）齿数　蜗杆头数即为蜗杆齿数 Z_1，在蜗轮整个圆周上轮齿的总数即为蜗轮齿数 Z_2。在蜗杆机构中，其传动比 i 为

$$i = \frac{Z_2}{Z_1} \tag{8-10}$$

蜗杆头数与蜗轮齿数应根据传动比的大小和经济效益决定，蜗杆头数过多，给加工带来麻烦，蜗轮齿数过小会产生根切现象。一般情况下，蜗轮齿数为 $Z_2 = 30 \sim 70$，蜗杆头数 Z_1 则根据传动比的大小在 $Z_1 = 1 \sim 4$ 的范围内调节。

（5）蜗杆直径系数、分度圆直径和中心距、铣削蜗轮的滚刀，其模数、直径和导程角等参数必须与相对应的蜗杆相同。这样，只要有一种分度圆直径的蜗杆，就得有一种对应的蜗轮滚刀，其滚刀种类势必太多。为减少滚刀种类，使滚刀标准化，国家标准规定，对于每一种标准模数只对应一种或几种标准的蜗杆分度圆直径，并把蜗杆分度圆直径 d_1 与模数 m 的比值称为蜗杆直径系数 q，即

$$q = \frac{d_1}{m} \tag{8-11}$$

m 和 q 的标准值见表 8-2 所示。

表 8-2　常用标准模数和蜗杆直径系数

模数 m /mm	1	2	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18～25
蜗杆直径系数 q	14	13	12	11	10(12)	9(11)	8(11)	8(11)	8(11)	9	9	8

根据式（8-11）看出，蜗杆的分度圆直径 d_1 为

$$d_1 = qm \tag{8-12}$$

蜗轮的分度圆直径 d_2 与普通齿轮相同，它与模数 m 和齿数 Z_2 的关系为

$$d_2 = Z_2 m \tag{8-13}$$

那么，标准蜗杆机构的中心距 a 为

$$a = \frac{1}{2}(d_1 + d_2) = \frac{m}{2}(q + Z_2) \tag{8-14}$$

（6）蜗杆轴向齿距、导程和导程角　当蜗杆头数为 Z_1，轴面模数为 m 时，蜗杆在分度圆圆柱面上的轴向齿距 p_x 等于蜗轮的端面齿距，即

$$p_x = \pi m \tag{8-15}$$

而蜗杆的轴向导程 p_z 为

$$p_z = \pi m_{x1} \tag{8-16}$$

从而，蜗杆在分度圆上的导程角 γ 为

$$\tan\gamma = \frac{p_z}{\pi d_1} = \frac{\pi m Z_1}{\pi d_1} = \frac{m Z_1}{d_1} \tag{8-17}$$

由于 $d_1=qm$，则

$$\tan\gamma = \frac{mZ_1}{d_1} = \frac{mZ_1}{qm} = \frac{Z_1}{q} \tag{8-18}$$

蜗杆的导程角 γ 相当于螺纹的螺纹升角 ϕ。

（7）全齿高和齿顶圆直径

1）蜗杆齿顶高 h_{a1} 和蜗轮齿顶高 h_{a2} 都等于 m，即

$$h_{a1} = h_{a2} = m \tag{8-19}$$

2）蜗杆齿根高 h_{f1} 和蜗轮齿根高 h_{f2} 相等，即

$$h_{f1} = h_{f2} = 1.2m \tag{8-20}$$

3）蜗杆全齿高 h_1 和蜗轮齿高 h_2 为

$$h_1 = h_2 = m + 1.2m = 2.2m \tag{8-21}$$

4）蜗杆齿顶圆直径 d_{a1} 为

$$d_{a1} = d_1 + 2h_{a1} \tag{8-22}$$

5）蜗轮喉圆直径 d_{a2} 为

$$d_{a2} = d_2 + 2h_{a2} \tag{8-23}$$

（8）蜗杆轴向齿厚 s_x 为蜗杆轴向齿距的 1/2

$$s_x = \frac{1}{2}p_x = \frac{1}{2}\pi m \tag{8-24}$$

蜗杆法向齿厚 s_n 为

$$s_n = s_x\cos\gamma \tag{8-25}$$

米制蜗杆机构基本几何尺寸见表 8-3。

表 8-3　米制蜗杆机构基本几何尺寸

名　称	代　号	几　何　尺　寸
轴向模数	m	基本参数
齿形角	α	$\alpha=20°$
蜗杆轴向齿距	p_x	$p_x=\pi m$
蜗杆导程	p_z	$p_z=\pi m z_1$
蜗杆分度圆直径	d_1	$d_1=mq$
蜗杆齿顶圆直径	d_{a1}	$d_{a1}=d_1+2h_{a1}$
蜗杆齿根圆直径	d_{f1}	$d_{f1}=d_1-2h_{f1}$
蜗杆齿顶高	h_{a1}	$h_{a1}=m$
蜗杆齿根高	h_{f1}	$h_{f1}=1.2m$（其中顶隙 $c=0.2m$）

（续）

名　　称	代　　号	几　何　尺　寸
蜗杆全齿高	h_1	$h_1 = h_{a1} + h_{f1} = 2.2m$
蜗杆导程角	γ	$\tan\gamma = \dfrac{p_z}{\pi d_1}$
蜗轮分度圆直径	d_2	$d_2 = mz_2 = 2a - d_1$
蜗杆喉圆直径	d_{a2}	$d_{a2} = d_2 + 2h_{a2}$
蜗轮齿顶面圆弧半径	R	$R = \dfrac{d_1}{2} - m$
蜗轮齿顶高	h_{a2}	$h_{a2} = m$
蜗轮齿根高	h_{f2}	$h_{f2} = 1.2m$
蜗轮全齿高	h_2	$h_2 = h_{a2} + h_{f2} = 2.2m$
蜗杆轴向齿厚	s_x	$s_x = \dfrac{1}{2}\pi m$
蜗杆法向齿厚	s_n	$s_n = s_x \cos\gamma$
蜗杆齿根槽宽	e_f	$e_f = 0.697m$
蜗杆齿顶宽	S_a	$S_a = 0.843m$

英制蜗杆又叫径节蜗杆，它的参数径节用 P 表示，它的压力角为 14.5°，即其牙型角为 29°，英制蜗杆的基本尺寸见表 8-4 所示。

表 8-4　英制蜗杆的基本尺寸

名　　称	代　　号	几　何　尺　寸
径节	DP	基本参数
齿形角	α	$\alpha = 14°30'$
蜗杆轴向齿距	p_x	$p_x = \dfrac{\pi}{DP}$
蜗杆导程	p_z	$p_z = \dfrac{\pi Z_1}{DP}$
分度圆直径	d_1	$d_1 = d_{a1} - 2\dfrac{1}{DP}$
导程角	γ	$\tan\gamma = \dfrac{pZ}{\pi d_1}$
齿顶高	h_{a1}	$h_{a1} = \dfrac{1}{DP}$
齿根高	h_{f1}	$h_{f1} = 1.157\dfrac{1}{DP}$

（续）

名　称	代　号	几　何　尺　寸
全齿高	h_1	$h_1 = 2.157 \frac{1}{DP}$
齿顶圆直径	d_{a1}	$d_{a1} = d_1 + 2 \frac{1}{DP}$
轴向齿厚	s_x	$s_x = \frac{\pi}{2DP}$
法向齿厚	s_n	$s_n = \frac{\pi}{2DP}\cos\gamma$
齿根槽宽	e_f	$e_f = 0.937 \frac{1}{DP}$
齿顶宽	S_a	$S_a = 1.054 \frac{1}{DP}$

例1：车削轴向模数 $m = 4$mm，线数 $Z_1 = 2$，分度圆直径 $d_1 = 40$mm 的蜗杆和与其啮合的蜗轮 $Z_2 = 60$，求相关参数。

解：根据表 8-3

1）蜗杆轴向齿距：$p_x = \pi m = 3.1416 \times 4\text{mm} = 12.556\text{mm}$

2）蜗杆导程：$p_z = \pi m z_1 = 3.1461 \times 4 \times 2\text{mm} = 25.133\text{mm}$

3）蜗杆导程角：$\tan\gamma = \frac{p_z}{\pi d_1} \frac{25.133}{3.1416 \times 40} = 0.20 \quad \gamma = 11.31°$

4）齿顶高：$h_{a1} = h_{a2} = m = 4\text{mm}$

5）全齿高：$h_1 = h_2 = 2.2m = 2.2 \times 4\text{mm} = 8.8\text{mm}$

6）蜗杆齿顶圆直径：$d_{a1} = d_1 + 2h_{a1} = (40 + 2 \times 4)\text{mm} = 48\text{mm}$

7）蜗杆轴向齿厚：$s_x = \frac{1}{2}\pi m = \frac{1}{2} \times 3.1416 \times 4\text{mm} = 6.28\text{mm}$

8）蜗杆法向齿厚：$s_n = s_x \cos\gamma = 6.28 \times \cos 11.31° = 6.1581\text{mm}$

9）蜗杆齿根槽宽：$e_f = 0.697m = 0.697 \times 4\text{mm} = 2.788\text{mm}$

10）蜗杆齿顶宽：$S_a = 0.843m = 0.843 \times 4\text{mm} = 3.372\text{mm}$

11）蜗轮分度圆直径：$d_2 = mz_2 = 4 \times 60\text{mm} = 240\text{mm}$

12）蜗轮喉圆直径：$d_{a2} = d_2 + 2h_{a2} = (240 + 2 \times 4)\text{mm} = 248\text{mm}$

13）蜗轮齿顶面圆弧半径：$R = \frac{d_1}{2} - m = \left(\frac{40}{2} - 4\right)\text{mm} = 16\text{mm}$

8.2.2　蜗杆车削的基本操作方法

1. 蜗杆与螺纹加工工艺的不同点

蜗杆齿形与梯形螺纹的牙型相似，其轴向断面都是等腰梯形，所以当蜗杆模数较小时，其加工方法大体相同。蜗杆与螺纹加工工艺的区别是：

1）蜗杆齿高与齿距的比$\frac{2.2m}{\pi m}=\frac{2.2}{\pi}$，相对于梯形螺纹牙高与螺距的比$\frac{0.5P}{P}=\frac{1}{2}$较大，即蜗杆的齿形相对于梯形螺纹牙型较深，使切削面积增大，所以车削蜗杆比车削梯形螺纹更为困难。

2）蜗杆特别是多头蜗杆的导程角较大，会引起蜗杆车刀工作前角和两侧后角发生较大变化，从而影响加工精度和表面粗糙度。

3）由于蜗杆的轴向齿距 $p_x=\pi m$ 时无限不循环小数，因此在车削蜗杆时，其乱扣数均为非整数，所以，只能采用倒顺车的方法车削蜗杆。同时交换齿轮也都是近似值。

4）蜗杆车刀与梯形螺纹车刀刀尖角和刀尖宽度不同，蜗杆车刀的刀尖角 $2\alpha=40°$，刀尖宽度 $e_f=0.697\text{mm}$。

2. 蜗杆车刀

蜗杆车刀与梯形螺纹车刀的几何形状基本相同，但一般蜗杆的导程较大，导程角也比梯形螺纹大，所以螺纹车刀的特殊性表观得更加突出。

（1）车刀的刃磨　车削蜗杆，一般应在粗加工后，再进行精加工，而粗车刀和精车刀应以分别保证切削效率和切削质量为前提，进行刃磨。

由于蜗杆的精度通常要求较高，切削刃必须保持锋利，所以，在精车时，多采用高速钢车刀，以提高尺寸精度和表面质量。粗车也可采用硬质合金车刀，进行高速切削。

为切削顺畅，降低切削力，以提高切削效率，在粗车时，粗车刀应磨有一定的径向前角，如图 8-4 所示。粗车刀几何参数的选择原则是：

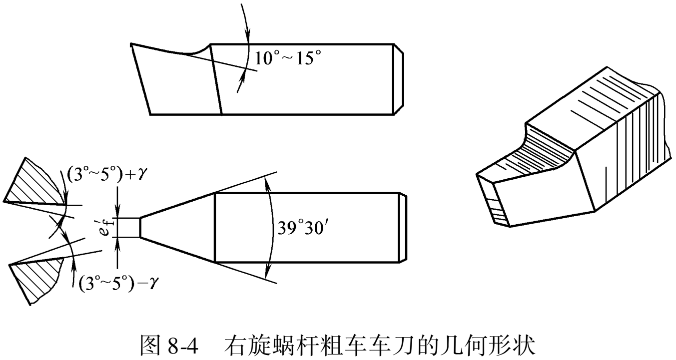


图 8-4　右旋蜗杆粗车车刀的几何形状

1）车刀的刀尖角 ε_r 应小于两倍的齿形角，即 $\varepsilon_r<2\alpha$。

2）切削塑性材料时，应磨有 $\gamma_P=10°\sim15°$的径向前角。

3）在车削右旋蜗杆时，当导程角为 γ 时，切削刃左侧后角 $\alpha_0L=\alpha_0+\gamma$，即 $\alpha_0L=(3°\sim5°)+\gamma$，右侧后角 $\alpha_0R=\alpha_0-\gamma$，即 $\alpha_0R=(3°\sim5°)-\gamma$。

4）为留出精车加工余量，刀头宽度 e_f'应小于齿根槽宽 e_f，即 $e_f' < e_f$。

5）刀尖两侧应适当磨成小圆角。

蜗杆精车刀的径向前角应等于零，即 $\gamma_P = 0$；当径向前角大于零时，应按式（7-23）计算出的修正的刀尖角度刃磨，使车刀的实际工作角度 $\varepsilon_r' = 2\alpha = 40°$。为了减小切削变形，使切屑流动顺畅，沿着左右切削刃平行磨出较大前角的卷屑槽，如图 8-5 所示。两切削刃应有良好的直线度和较小的表面粗糙度值，以获得正确而光滑的蜗杆齿形。

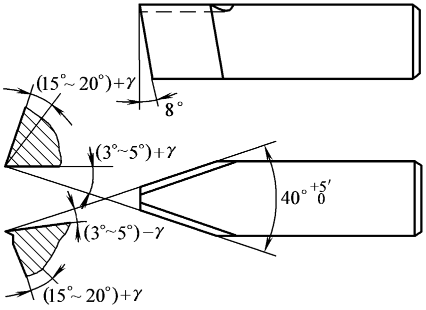
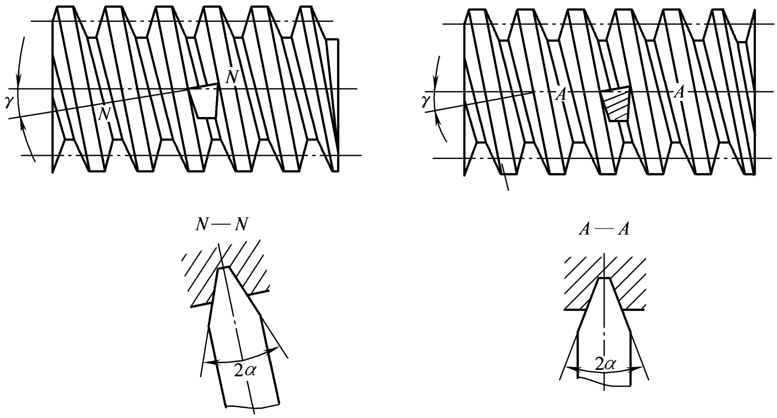


图 8-5　蜗杆精车刀

（2）车刀的装夹　根据蜗杆齿形或加工工艺需要，蜗杆车刀有垂直装刀法和水平装刀法两种，如图 8-6 所示。



a）　　b）

图 8-6　蜗杆车刀的装夹方法

a）轴向直廓　b）法向直廓

1）垂直装刀法是将车刀左右切削刃组成的平面与蜗杆齿侧垂直，如图 8-6a 所示。垂直装刀法在切削时，两切削刃在偏离蜗杆轴线的空间切削，是车削法向直廓蜗杆的基本方法。由于两切削刃与蜗杆两侧齿面对称，使切削力均衡、平稳，所以在粗车或精车精度要求不高的轴向直廓蜗杆时，也经常采用。

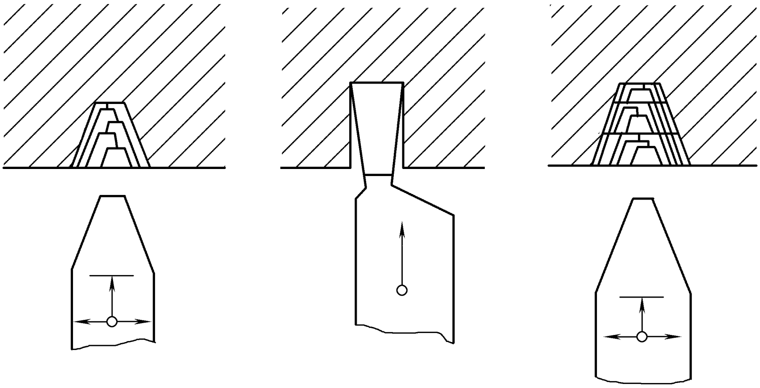
2）水平装刀法是将车刀左右切削刃组成的平面与蜗杆轴心平行，如图 8-6b 所示。水平装刀法在切削时，两切削刃与蜗杆轴线在同一水平面内，保证轴向直廓蜗杆的齿形正确，是精车轴向直廓蜗杆的基本方法。

由于蜗杆的导程角通常较大，可采用可回转的弹性刀杆，它不但装夹方便，还可缓冲意外冲击，防止产生扎刀现象。

3. 切削操作

（1）进刀方式　车削蜗杆的进刀方式与车削梯形螺纹的进刀方式大体相同，但由于蜗杆齿形较深，切削面积较大，所以车削蜗杆的进刀方式更加讲究。

蜗杆在粗车时，一般有以下几种方法进给（图 8-7）：



a）　　b）　　c）

图 8-7　蜗杆的粗车方法

a）左右赶刀法　b）切槽法　c）分层切削法

1）左右赶刀法。当蜗杆模数 $m<3$mm 时，多采用左右赶刀法。它一般由两个切削刃参与切削，在直进时，左右赶刀，以防止切削力过大造成扎刀现象，如图 8-7a 所示。

2）车槽法。当蜗杆模数 $m>3$mm 时，用车槽刀将蜗杆车至全齿高深度后，再进行精车，如图 8-7b 所示。

3）分层切削法。当蜗杆模数很大时，可用分层切削法进行粗车，即将车削余量分成几层，每层均采用左右赶刀法切削，如图 8-7c 所示。

精车时，用带有卷屑槽的精车刀用直进法或左右赶刀法将齿面切削成形，如图 8-8 所示。

（2）切削用量　车削蜗杆的切削用量，应根据具体情况选择。选择的基本原则是：

1）切削速度。在粗车时，可选用高速钢或硬质合金车刀。用高速钢车刀粗车，切削速度 $v_c=10\sim12$m/min，用硬质合金车刀，切削速度 $v_c=50\sim60$m/min。

在精车时，一般应选用高速钢车刀进行低速切削，切削速度一般应小于 5m/min。

在选择切削速度时，还应考虑蜗杆导程和齿形长度，当蜗杆导程较大或齿形长度较短时，可适当降低切

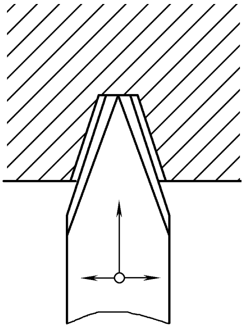


图 8-8　蜗杆的精车方法

削速度，以缓解操作的紧张状况。

2）背吃刀量。在粗车时，均应采用两个切削刃参与切削，使切削稳定，这样可适当加大背吃刀量，一般背吃刀量为 $a_p = 0.3 \sim 0.5$mm。

在精车时，如采用直进法进刀，两侧切削刃均参与切削，其背吃刀量应为 $a_p = 0.1 \sim 0.15$mm。用左右赶刀法则可适当加大。

（3）操作方法　由于蜗杆轴向齿距是非整数，在车削蜗杆时，乱扣数很大，所以只能将开合螺母闭合后，采用倒顺车的方法车削蜗杆。

（4）分线方法　分线方法与切削螺纹的分线方法大体相同，如用小滑板分线，用卡盘卡爪分线，用分度插盘分线和用交换齿轮分线等，可参阅 7.4.3 节的多线螺纹的分线方法。

8.2.3　车削蜗杆交换齿轮计算

在车削蜗杆时，先在进给箱铭牌上找出与蜗杆导程相对应的模数 m 或径节 DP，并调整好各交换手柄的位置即可。但在无进给箱的旧式车床上车削蜗杆，或进给箱铭牌上没有的特殊蜗杆时，则必须先进行交换齿轮的计算，或进行变通的交换齿轮计算，并在正确的组装后，才能获得所需要的蜗杆齿距。

车削蜗杆时的交换齿轮与车螺纹时交换齿轮的计算方法大体相同，也遵循传动比的运算原则。但由于度量螺旋线间距大小的参数不是工件螺距 $P_{工}$，而是模数 m 或径节 DP，所以首先将车螺纹计算交换齿轮的基本公式（7-32）

$$\frac{Z_1}{Z_2} \times \frac{Z_3}{Z_4} = \frac{P_{工}}{P_{丝}}$$

换算成与其相对应的形式，再经过分式的基本运算原则，计算出相应齿数的齿轮，并对蜗杆的导程和式（7-31）所示的啮合条件进行验算。

下面根据不同情况作交换齿轮的运算。由于在以下的计算式中，均含有 25.4 或 π，所以计算的交换齿轮均为近似值，只要其误差在允许范围内即可。

1. 无进给箱车床交换齿轮的计算

（1）米制车床模数蜗杆　在用米制车床车削模数蜗杆时，先依据计算式 $P_z = \pi m Z_1$，将蜗杆的轴向导程替代式（7-32）中的工件螺距 $P_{工}$，即

$$\frac{Z_1}{Z_2} \times \frac{Z_3}{Z_4} = \frac{P_z}{P_{丝}} = \frac{\pi m Z_1}{P_{丝}} \tag{8-26}$$

式中　P_z——蜗杆的轴向导程（mm）；

$P_{丝}$——车床丝杠螺距（mm）；

m——蜗杆的轴向模数；

Z_1——蜗杆头数。

由于 π 值为非循环小数，在计算时，用 π 的近似分数表示。常用的近似分

数如表 8-5 所示（按精度依次递增排列）。

表 8-5　π的近似分数

近似分数	近似分数值/mm	误差	特备齿轮齿数
$\frac{157}{50}$	3.1400000	0.0015927	157
$\frac{22}{7}$	3.1428571	0.0012644	
$\frac{32\times27}{25\times11}$	3.1418181	0.0002254	（135）
$\frac{19\times21}{127}$	3.1417322	0.0001395	
$\frac{25\times47}{22\times17}$	3.1417112	0.0001185	47
$\frac{8\times97}{13\times19}$	3.1417004	0.0001077	97

例 2：车床丝杠螺距 $P_{丝}=6\text{mm}$，车模数 $m=2\text{mm}$ 的单线蜗杆，试计算交换齿轮。

解：取 $\pi\approx\frac{22}{7}$，根据式（8-26）

$$\frac{Z_1}{Z_2}\times\frac{Z_3}{Z_4}=\frac{P_{工}}{P_{丝}}=\frac{\pi m Z_1}{P_{丝}}=\frac{\pi\times2\times1}{6}=\frac{22}{7}\times\frac{4}{6}=\frac{110}{70}\times\frac{60}{90}$$

验算蜗杆实际轴向导程 P_z'：

将式（8-26）移项得

$$P_z'=\frac{Z_1}{Z_2}\times\frac{Z_3}{Z_4}\times P_{丝}=\frac{110}{70}\times\frac{60}{90}\times6\text{mm}=6.2857\text{mm}$$

蜗杆轴向导程 $P_z=\pi m Z_1=\pi\times2\times1\text{mm}\approx6.2832\text{mm}$

误差 $P_z'-P_z=(6.2857-6.2832)\text{mm}\approx0.0025\text{mm}$。

验证啮合条件：

根据式（7-31）

$$Z_1+Z_2-Z_3=110+70-60=120>15$$
$$Z_3+Z_4-Z_2=60+90-70=80>15$$

经验算

$\frac{Z_1}{Z_2}\times\frac{Z_3}{Z_4}=\frac{110}{70}\times\frac{60}{90}$ 均符合要求。

例 3：$P_{丝}=12\text{mm}$，车削模数 $m=2\text{mm}$ 的双头蜗杆，试计算交换齿轮。

解：取 $\pi\approx\frac{19\times21}{127}$，根据式（8-26）

$$\frac{Z_1}{Z_2}\times\frac{Z_3}{Z_4}=\frac{P_{工}}{P_{丝}}=\frac{\pi m Z_1}{P_{丝}}=\frac{\pi\times2\times2.5}{12}=\frac{19\times21\times5}{12\times127}=\frac{95}{60}\times\frac{105}{127}$$

验算蜗杆实际导程 P_z'：

将式（8-26）移项得

$$P_z' = \frac{Z_1}{Z_2} \times \frac{Z_3}{Z_4} \times P_{丝} = \frac{95}{60} \times \frac{105}{127} \times 12\text{mm} = 15.71\text{mm}$$

米制蜗杆导程 $P_z = \pi m Z_1 = \pi \times 2 \times 2.5\text{mm} \approx 15.708\text{mm}$

误差 $P_z' - P_z = (15.71 - 15.708)\ \text{mm} \approx 0.002\text{mm}$

验证啮合条件：

根据式（7-31）

$$Z_1 + Z_2 - Z_3 = 95 + 60 - 105 = 50 > 15$$

$$Z_3 + Z_4 - Z_2 = 105 + 127 - 60 = 172 > 15$$

经验算

$\frac{Z_1}{Z_2} \times \frac{Z_3}{Z_4} = \frac{95}{60} \times \frac{105}{127}$ 均符合要求。

（2）米制车床车径节蜗杆　用米制车床车削径节蜗杆时，则依据算式 $P_z = \frac{25.4\pi Z_1}{DP}$，将蜗杆的米制轴向导程，替代式（7-32）中的工件螺距 $P_{工}$，即

$$\frac{Z_1}{Z_2} \times \frac{Z_3}{Z_4} = \frac{P_{工}}{P_{丝}} = \frac{P_z}{P_{丝}} = \frac{25.4\pi Z_1}{DP \times P_{丝}} \tag{8-27}$$

式中　P_z——蜗杆的米制轴向导程（mm）；

$P_{丝}$——车床丝杠螺距（mm）；

DP——蜗杆径节；

Z_1——蜗杆头数。

由于式（8-27）中，包含了25.4和 π 两个非整数，在计算时，应分别用表7-8和表8-5的分式表示。

例4：车床丝杠螺距 $P_{丝} = 6\text{mm}$，车径节 $DP = 12$ 的单头蜗杆，试计算交换齿轮。

解：取 $25.4 \approx \frac{127}{5}$，$\pi \approx \frac{22}{7}$，根据式（8-27）

$$\frac{Z_1}{Z_2} \times \frac{Z_3}{Z_4} = \frac{25.4\pi Z_1}{DP \times P_{丝}} = \frac{127 \times 22 \times 1}{5 \times 7 \times 12 \times 6} = \frac{55}{105} \times \frac{127}{60}$$

验算蜗杆实际米制轴向导程 P_z'：

将式（8-27）移项得

$$P_z' = \frac{Z_1}{Z_2} \times \frac{Z_3}{Z_4} \times P_{丝} = \frac{55}{105} \times \frac{127}{60} \times 6\text{mm} = 6.652\text{mm}$$

蜗杆米制轴向导程 $P_z = \frac{25.4\pi Z_1}{DP} = \frac{25.4 \times \pi \times 1}{12}\text{mm} \approx 6.65\text{mm}$

误差 $P_z' - P_z = (6.652 - 6.65)\text{mm} = 0.002\text{mm}$

验证啮合条件：

根据式（7-23）

$$Z_1 + Z_2 - Z_3 = 55 + 105 - 127 = 33 > 15$$

$$Z_3 + Z_4 - Z_2 = 127 + 60 - 105 = 82 > 15$$

经验算

$\dfrac{Z_1}{Z_2} \times \dfrac{Z_3}{Z_4} = \dfrac{55}{105} \times \dfrac{127}{60}$ 均符合要求。

例 5：车床丝杠螺距 $P_{丝} = 6\text{mm}$，车径节 $DP = 12$ 的双头蜗杆，试计算交换齿轮。

解：取 $25.4 \approx \dfrac{127}{5}$，$\pi \approx \dfrac{19 \times 21}{127}$，根据式（8-27）

$$\frac{Z_1}{Z_2} \times \frac{Z_3}{Z_4} = \frac{25.4\pi Z_1}{DP \times P_{丝}} = \frac{127 \times 19 \times 21 \times 2}{5 \times 127 \times 12 \times 10} = \frac{19 \times 21}{5 \times 6 \times 10} = \frac{95}{75} \times \frac{105}{100}$$

验算蜗杆实际米制轴向导程 P_z'：

将式（8-27）移项得

$$P_z' = \frac{Z_1}{Z_2} \times \frac{Z_3}{Z_4} \times P_{丝} = \frac{95}{75} \times \frac{105}{100} \times 10\text{mm} = 13.3\text{mm}$$

蜗杆米制轴向导程 $P_z = \dfrac{25.4\pi Z_1}{DP} = \dfrac{25.4 \times \pi \times 2}{12}\text{mm} \approx 13.299\text{mm}$

误差 $P_z' - P_z = (13.3 - 13.299)\text{mm} = 0.001\text{mm}$

验证啮合条件：

根据式（7-23）

$$Z_1 + Z_2 - Z_3 = 95 + 75 - 105 = 65 > 15$$

$$Z_3 + Z_4 - Z_2 = 105 + 100 - 75 = 130 > 15$$

经验算

$\dfrac{Z_1}{Z_2} \times \dfrac{Z_3}{Z_4} = \dfrac{95}{75} \times \dfrac{105}{100}$ 均符合要求。

（3）英制车床车模数蜗杆　用英制车床车削模数蜗杆时，则根据算式 $P_{丝} = \dfrac{25.4}{丝杠每英寸牙数}$ 将英制丝杠换算成米制螺距和 $P_z = \pi m Z_1$ 分别替代式（7-32）中的 $P_{丝}$ 和 $P_{工}$，即

$$\frac{Z_1}{Z_2} \times \frac{Z_3}{Z_4} = \frac{P_z}{P_{丝}} = \frac{\pi m Z_1 \times 丝杠每英寸牙数}{25.4} \tag{8-28}$$

式中　P_z——蜗杆的轴向导程（mm）；

$P_{丝}$——英制丝杠的米制螺距（mm）；

m——蜗杆的轴向模数；

Z_1——蜗杆头数。

例 6：车床丝杠每英寸 4 牙，车模数 $m=2.5\text{mm}$ 的单头蜗杆，试计算交换齿轮。

解：取 $25.4\approx\frac{127}{5}$，$\pi\approx\frac{22}{7}$，根据式（8-28）

$$\frac{Z_1}{Z_2}\times\frac{Z_3}{Z_4}=\frac{\pi m Z_1\times 丝杠每英寸牙数}{25.4}=\frac{22\times5\times2.5\times1\times4}{7\times127}$$

$$=\frac{100}{70}\times\frac{110}{127}$$

验算蜗杆实际轴向导程 P_z'：

将式（8-28）移项得

$$P_z'=\frac{Z_1}{Z_2}\times\frac{Z_3}{Z_4}\times\frac{25.4}{丝杠每英寸牙数}=\frac{100}{70}\times\frac{110}{127}\times\frac{25.4}{4}\text{mm}=7.857\text{mm}$$

蜗杆轴向导程 $P_z=\pi m Z_1=\pi\times2.5\times1\text{mm}\approx7.854\text{mm}$

误差 $P_z'-P_z=(7.857-7.854)\text{mm}=0.003\text{mm}$

验证啮合条件：

根据式（7-23）

$$Z_1+Z_2-Z_3=100+70-110=60>15$$

$$Z_3+Z_4-Z_2=110+127-70=167>15$$

经验算

$\frac{Z_1}{Z_2}\times\frac{Z_3}{Z_4}=\frac{100}{70}\times\frac{110}{127}$ 均符合要求。

例 7：用丝杆为每英寸 6 牙的车床车模数 $m=3.5\text{mm}$ 的双头蜗杆，试计算交换齿轮。

解：取 $25.4\approx\frac{127}{5}$，$\pi\approx\frac{22}{7}$，根据式（8-28）

$$\frac{Z_1}{Z_2}\times\frac{Z_3}{Z_4}=\frac{\pi m Z_1\times 丝杠每英寸牙数}{25.4}=\frac{22\times5\times3.5\times2\times6}{7\times127}$$

$$=\frac{120}{20}\times\frac{110}{127}$$

验算蜗杆实际轴向导程 P_z'

将式（8-28）移项得

$$P_z'=\frac{Z_1}{Z_2}\times\frac{Z_3}{Z_4}\times\frac{25.4}{丝杠每英寸牙数}=\frac{120}{20}\times\frac{110}{127}\times\frac{25.4}{6}\text{mm}=22\text{mm}$$

蜗杆轴向导程 $P_z=\pi m Z_1=\pi\times3.5\times2\text{mm}\approx21.991\text{mm}$

误差 $P_z' - P_z = (22-21.991)\text{mm} = 0.009\text{mm}$

验证啮合条件：

根据式（7-23）

$$Z_1+Z_2-Z_3 = 120+20-110 = 30 > 15$$
$$Z_3+Z_4-Z_2 = 110+127-20 = 217 > 15$$

经验算

$\dfrac{Z_1}{Z_2}\times\dfrac{Z_3}{Z_4} = \dfrac{120}{20}\times\dfrac{110}{127}$ 均符合要求。

（4）英制车床车径节蜗杆　用英制车床车削径节蜗杆时，如前面的计算思路，将英制丝杠和径节螺杆均换算成米制形式后，将它们代入式（7-32）中，由于

蜗杆的米制导程 $P_z = \dfrac{25.4\pi Z_1}{DP}$

丝杠的米制螺距 $P_丝 = \dfrac{25.4}{丝杠每英寸牙数}$

将它们代入式（7-32）中

$$\frac{Z_1}{Z_2}\times\frac{Z_3}{Z_4} = \frac{P_z}{P_丝} = \frac{\dfrac{25.4\pi Z_1}{DP}}{\dfrac{25.4}{丝杠每英寸牙数}} = \frac{\pi Z_1\times 丝杠每英寸牙数}{DP} \tag{8-29}$$

式中　P_z——蜗杆的轴向导程（mm）；

$P_丝$——英制车床的米制螺距（mm）；

DP——蜗杆径节；

Z_1——蜗杆头数。

例 8：车床丝杠每英寸 4 牙，车径节 $DP=12$ 的双头蜗杆，试计算交换齿轮。

解：取 $\pi\approx\dfrac{22}{7}$，根据式（8-29）

$$\frac{Z_1}{Z_2}\times\frac{Z_3}{Z_4} = \frac{\pi Z_1\times 丝杠每英寸牙数}{DP} = \frac{22\times2\times4}{7\times12} = \frac{60}{90}\times\frac{110}{35}$$

验算蜗杆实际轴向导程 P_z'：

将式（8-28）移项得

$$P_z' = \frac{Z_1}{Z_2}\times\frac{Z_3}{Z_4}\times\frac{25.4}{丝杠每英寸牙数} = \frac{60}{90}\times\frac{110}{35}\times\frac{25.4}{4}\text{mm} = 13.305\text{mm}$$

蜗杆米制轴向导程 $P_z = \dfrac{25.4\pi Z_1}{DP} = \dfrac{25.4\times\pi\times2}{12}\text{mm}\approx 13.299\text{mm}$

误差 $P_z' - P_z = (13.305 - 13.299)\text{mm} = 0.006\text{mm}$

验证啮合条件：

根据式（7-31）

$$Z_1 + Z_2 - Z_3 = 60 + 90 - 110 = 40 > 15$$

$$Z_3 + Z_4 - Z_2 = 110 + 35 - 90 = 55 > 15$$

经验算

$\frac{Z_1}{Z_2} \times \frac{Z_3}{Z_4} = \frac{60}{90} \times \frac{110}{35}$ 均符合要求。

例 9：车床丝杠每英寸 8 牙，车径节 $DP = 8$ 的单头蜗杆，试计算交换齿轮。

解：取 $\pi \approx \frac{19 \times 21}{127}$，根据式（8-29）

$$\frac{Z_1}{Z_2} \times \frac{Z_3}{Z_4} = \frac{\pi Z_1 \times \text{丝杠每英寸牙数}}{DP} = \frac{19 \times 21 \times 1 \times 8}{127 \times 8} = \frac{105}{25} \times \frac{95}{127}$$

验算蜗杆实际轴向导程 P_z'：

将式（8-28）移项得

$$P_z' = \frac{Z_1}{Z_2} \times \frac{Z_3}{Z_4} \times \frac{25.4}{\text{丝杠每英寸牙数}} = \frac{105}{25} \times \frac{95}{127} \times \frac{25.4}{8}\text{mm} = 9.975\text{mm}$$

蜗杆米制轴向导程 $P_z = \frac{25.4\pi Z_1}{DP} = \frac{25.4 \times \pi \times 1}{8}\text{mm} \approx 9.9746\text{mm}$

误差 $P_z' - P_z = (9.975 - 9.9746)\text{mm} = 0.0004\text{mm}$

验证啮合条件：

根据式（7-31）

$$Z_1 + Z_2 - Z_3 = 105 + 25 - 95 = 35 > 15$$

$$Z_3 + Z_4 - Z_2 = 95 + 127 - 25 = 197 > 15$$

经验算

$\frac{Z_1}{Z_2} \times \frac{Z_3}{Z_4} = \frac{105}{25} \times \frac{95}{127}$ 均符合要求。

2. 有进给箱车床交换齿轮的变通计算

在车削特殊的或在车床进给箱铭牌上找不到的蜗杆时，可通过变通的方法，对铭牌上现有的蜗杆进行重新计算，得到新的变通的传动比 $i_{变}$，以满足加工需要。

车特殊蜗杆的计算步骤和方法。首先在进给箱铭牌上选取与蜗杆计量单位相同的螺距或每英寸牙数，即车模数蜗杆在米制螺距中选取；车径节蜗杆在英制螺纹的每英寸牙数中选取。之后再采用以下的计算式，将相对应的原交换齿轮比 $i_{原}$ 进行运算，计算出变通的交换齿轮 $i_{变}$。

1）当车模数蜗杆时

$$i_{变} = \frac{Z_1}{Z_2} \times \frac{Z_3}{Z_4} = \frac{P_z}{P_i} \times i_{原} = \frac{\pi m Z_1}{P_1} \times i_{原} \tag{8-30}$$

2）当车径节蜗杆时

由于英制蜗杆的米制导程 $= \frac{25.4\pi Z_1}{DP}$ 替代 $\pi m Z_1$，任意选取的 n_1 的米制螺距 $= \frac{25.4}{n_1}$ 替代 P_1，代入式（8-30）

则
$$i_{变} = \frac{Z_1}{Z_2} \times \frac{Z_3}{Z_4} = \frac{P_z}{P_i} \times i_{原} \frac{\frac{25.4\pi Z_1}{DP}}{\frac{25.4}{n_1}} \times i_{原} = \frac{\pi n_1 Z_1}{DP} \times i_{原} \tag{8-31}$$

式中　$i_{变}$——新计算出的变通交换齿轮比；

P_z——蜗杆导程（mm）；

P_i——在铭牌上任意选取的米制螺距（mm）；

m——蜗杆模数（mm）；

Z_1——蜗杆头数；

n_1——在铭牌上任意选取的英制螺纹每英寸牙数；

DP——蜗杆径节；

$i_{原}$——所选取的 P_1 或 n_1 位置上原来的交换齿轮比。

例 10：在 C618 型普通车床上车模数 $m = 2$mm 的单头蜗杆，计算变通的交换齿轮和确定变换手柄位置。

解：在表 7-10 的进给箱铭牌上选螺距 $P_1 = 2$mm，则

$$i_{原} = \frac{45}{90}$$

根据式（8-30）

$$i_{变} = \frac{Z_1}{Z_2} \times \frac{Z_3}{Z_4} = \frac{\pi m Z_1}{P_1} \times i_{原} = \frac{\pi \times 2 \times 1}{2} \times \frac{45}{90} = \frac{22}{7} \times \frac{45}{90} = \frac{11}{7} = \frac{55}{35}$$

验算蜗杆实际导程 P_z'：

验算蜗杆实际导程的方法是：将式（8-30）移项

$$P_z' = \frac{Z_1}{Z_2} \times \frac{Z_3}{Z_4} \times \frac{P_1}{i_{原}} = \frac{55}{35} \times 2 \times \frac{90}{45}\text{mm} = 6.2857\text{mm}$$

蜗杆轴向导程：$P_z = \pi m Z_1 = \pi \times 2 \times 1\text{mm} = 6.2832\text{mm}$

误差：$P_z' - P_z =$（6.2857 − 6.2832）mm = 0.0025mm

移动手柄仍在螺距 $P_1 = 2$ 的位置上，即诺顿手柄：5；移动手柄：Ⅰ。

例 11：在 C618 型普通车床上车径节 $DP = 16$ 的双头蜗杆，计算变通的交换齿轮和确定变换手柄位置。

解：在表 7-10 的进给箱铭牌上选取每英寸为 8 牙的英制螺纹，则

$$i_{原} = \frac{127}{80} \times \frac{36}{90}$$

根据式（8-31）

$$i_{变} = \frac{Z_1}{Z_2} \times \frac{Z_3}{Z_4} = \frac{\pi n_1 Z_1}{DP} \times i_{原} = \frac{\pi \times 8 \times 2}{16} \times \frac{127}{80} \times \frac{36}{90}$$

$$= \frac{22}{7} \times \frac{127}{80} \times \frac{36}{90} = \frac{55}{100} \times \frac{127}{35}$$

验算蜗杆实际导程 P'_z：

$$P'_z = \frac{25.4}{n_1} \times \frac{i_{变}}{i_{原}} = \frac{25.4}{8} \times \frac{\frac{55}{100} \times \frac{127}{35}}{\frac{127}{80} \times \frac{36}{90}}\text{mm} = 9.979\text{mm}$$

蜗杆轴向米制导程：$P_z = \frac{25.4\pi Z_1}{DP} = \frac{25.4 \times \pi \times 2}{16}\text{mm} = 9.9743\text{mm}$

误差：$P'_z - P_z = (9.979 - 9.9743)\text{mm} = 0.0047\text{mm}$

验证啮合条件：

根据式（7-23）

$$Z_1 + Z_2 - Z_3 = 55 + 100 - 127 = 28 > 15$$

$$Z_3 + Z_4 - Z_2 = 127 + 35 - 100 = 62 > 15$$

经验算

$\frac{Z_1}{Z_2} \times \frac{Z_3}{Z_4} = \frac{55}{100} \times \frac{127}{35}$ 均符合要求。

移动手柄仍在每英寸 8 牙的位置上，即诺顿手柄：6；移动手柄：Ⅰ。

8.2.4　蜗轮的车削加工

车削加工蜗轮的内容是：加工内孔、喉圆直径和齿面圆弧半径以及端面等其他各部。由于蜗轮多用铜合金或球墨铸铁制造，易于加工。车加工蜗轮的操作要点是：

1）蜗轮的定位内孔及其端面应与喉圆直径 d_{a2} 和齿面圆弧半径 R 一次装夹时车出，以保证它们的同轴度精度。

2）蜗轮齿顶面圆弧应按 $R = \frac{d_2}{2} - m$ 的要求，用成形刀车削，并保证喉圆直径 d_{a2} 的尺寸要求。

3）齿顶面圆弧半径 R 的顶点，即喉圆直径 d_{a2}，应相对于两侧端面对称，以保证圆弧齿面与蜗杆啮合面的均匀。

8.3　蜗杆测量技术和切削缺陷分析

8.3.1　蜗杆测量技术

蜗杆的主要测量参数有齿顶圆直径、分度圆直径和法向齿厚。

1）测量齿顶圆直径 d_{a1} 可用游标卡尺或千分尺等。

2）测量分度圆直径 d_1 和测量螺纹中径的方法相似，用三针测量蜗杆分度圆直径 d_1。在测量 40°米制蜗杆时：

①其量针最佳直径为：　$d_D = 1.675m$　（8-32）

②测出 M 值后，蜗杆分度圆直径实际尺寸的计算式为

$$d_1' = M - 3.924d_D + 4.316m \quad (8\text{-}33)$$

式中　d_1'——测量后计算出的蜗杆分度圆直径（mm）；

M——千分尺测出的尺寸（mm）；

d_D——量针直径（mm）；

m——蜗杆模数（mm）。

例 12：车削模数 $m = 3$mm 的双头蜗杆，用三针测量分度圆直径 $d_1 = 40_{-0.050}^{-0.025}$mm。根据式（8-32），$d_D = 1.675m = 1.675 \times 3$mm $= 5.025$mm，取 $d_D = 5.176$mm，今测得 $M = 47.325$mm，求被测的分度圆直径 d_1'。

解：根据式（8-33）

$$d_1' = M - 3.924d_D + 4.316m$$

$$= (47.325 - 3.924 \times 5.176 + 4.316 \times 3)\text{mm} = 39.966\text{mm}$$

即 $d_1' = 39.966\text{mm} = (40 - 0.034)\text{mm}$。蜗杆分度圆直径在公差范围内。

3）测量法向齿厚 S_n。轴向齿厚 S_x 是指在蜗杆分度圆上齿形的轴向厚度，是检验蜗杆质量的重要参数，在齿形正确的情况下，在蜗杆分度圆上的轴向齿厚与齿槽宽度相等，都等于蜗杆轴向齿距 p_x 的一半。但由于导程角 γ 的存在，轴向齿厚无法直接测量，通常通过对法向齿厚 S_n 的测量，再计算出轴向齿厚 S_x 来。

法向齿厚 S_n 一般用齿轮卡尺测量，如图 8-9 所示。齿轮卡尺由互相垂直的齿高卡尺 1 和齿厚卡尺 2 组成。测量时，先把齿高卡尺调整到齿顶高 $h_{a1} = m$ 的尺寸（必须剔除齿顶圆直径 d_{a1} 的尺寸误差对齿顶高的影响），如图 8-9b 所示。再将齿厚卡尺两卡脚的连线与齿侧垂直，即把齿轮卡尺平面与蜗杆轴线形成蜗杆的导程角 γ，如图 8-9c 所示。这样齿厚卡尺所测得的读数即为法向齿厚 S_n 的实际尺寸。

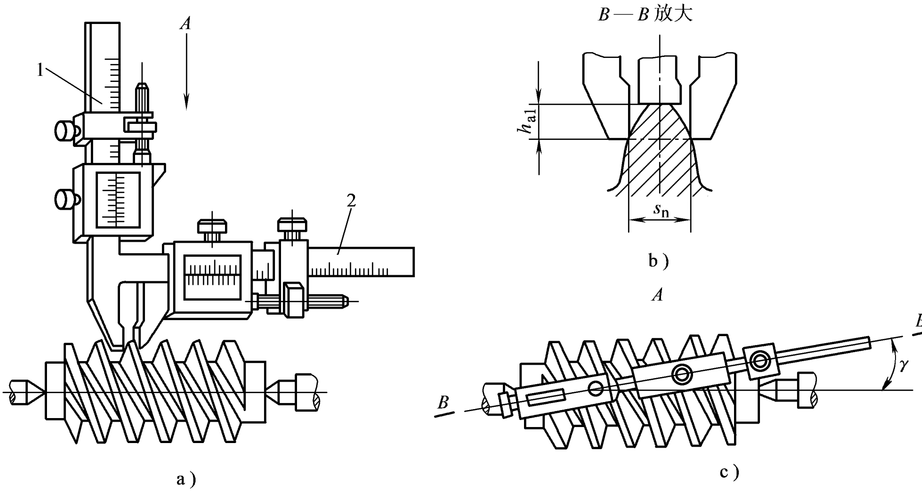


图 8-9　用齿轮卡尺测量法向齿厚

1—齿高卡尺　2—齿厚卡尺

将蜗杆法向齿厚 s_n 换算成轴向齿厚 s_x 的计算式是

$$s_n = s_x\cos\gamma = \frac{1}{2}\pi\cos\gamma \qquad (8\text{-}34)$$

式中　s_n——蜗杆法向齿厚（mm）；

s_x——蜗杆轴向齿厚（mm）；

γ——蜗杆导程角（°）。

8.3.2　车削蜗杆常见操作缺陷分析

车削蜗杆时，常见操作缺陷分析见表 8-6。

表 8-6　车削蜗杆时常见操作缺陷分析

出现的问题	产生原因	预防措施
轴向齿距不准确	（1）交换齿轮计算或配置不对，手柄调整错误 （2）丝杠轴向窜动 （3）床鞍移动时，手柄运转不均匀 （4）车削多头螺纹时 1）分头不正确 2）小溜板移动方向与主轴轴线不平行，使小溜板实际移动距离小于齿距	（1）调整机床挂轮及手柄时应注意准确无误 （2）调整丝杠轴向支撑间隙 （3）加工前使床鞍手柄与转动齿条脱开，使床鞍能匀速运动 （4）仔细分头，调整小溜板位置，使小溜板的移动轨迹与床身导轨平行，平行度为 0.02/100

（续）

出现的问题	产生原因	预防措施
齿形角不准	(1)车刀刀尖角刃磨不正确 (2)车刀安装歪斜	(1)刃磨时,应对照样板仔细刃磨刀尖角 (2)注意车刀的安装位置
法向齿厚超差	(1)进给量太大 (2)用三针测量时,计算错误	(1)选择合理的进给量 (2)计算后,应仔细校核
齿面粗糙度差	(1)车削切削刃不光洁 (2)车刀磨损 (3)切削用量不当 (4)精车余量太少	(1)要将切削刃刃磨平直、光洁 (2)及时刃磨车刀,保持锋利 (3)合理选用切削用量,避免产生积屑瘤,防止“扎刀” (4)适当增加精车余量

【实例 8-1】 双头蜗杆加工工艺实例

图 8-10 为双头右旋蜗杆的图样。小批量车削的加工工艺作如下分析和安排。

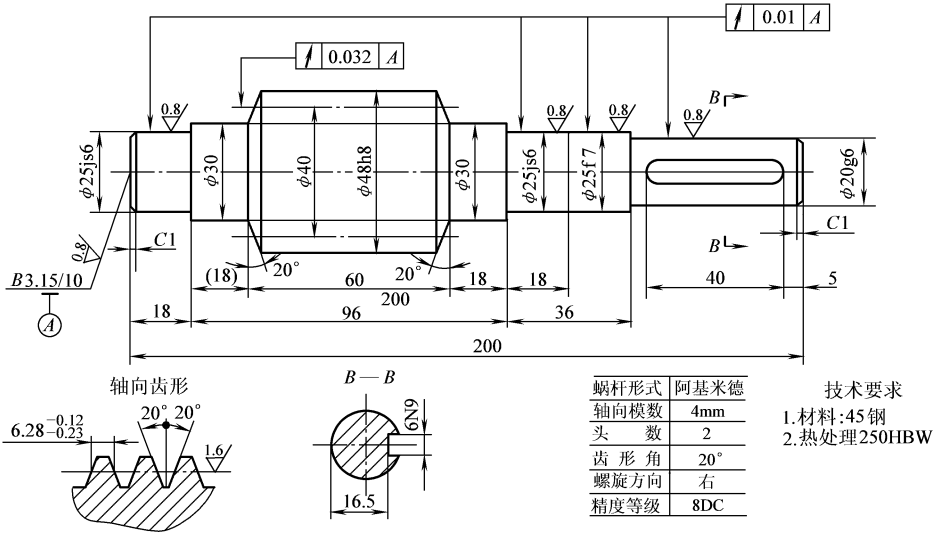


图 8-10　双头右旋蜗杆

1. 工艺分析

1）为简化工序，调质工序安排在粗车之前进行。

2）为保证工件各部的同轴度精度，应采用两顶尖装夹工件的装夹形式。

3）为增强工件的装夹刚性，蜗杆两端均车成 ϕ30mm 的光轴。待蜗杆车削完成后，再车削两端各部。

4）由于齿形是轴向直廓蜗杆，精车刀径向前角为零，采用水平装夹，粗车刀则可采用垂直装夹，为使切削顺畅，可磨径向前角。

5）粗车齿形时，采用小滑板分线法分线，以简化操作程序，在留有足够的精车余量后，再采用交换齿轮法分线，以提高分线精度。

6）蜗杆用三针法测量分度圆直径，用齿轮卡尺测量法向齿厚。

2. 机械加工工艺

蜗杆加工工艺卡片如表8-7所示。

表8-7　机械加工工艺卡片

×××厂	机械加工工艺卡片	产品名称	减速箱	零件图号	
		零件名称	双头蜗杆	共　　页	第　　页

材料	45钢	毛坯种类	热轧圆钢	毛坯尺寸	$\phi52\times202$	每毛坯可制件数	1	每台件数	1

工序	工种	工步	工序内容	设备	夹具	刀具	量具
1	热处理		调质处理250～260HBW				
2	车	（1）	用三爪自定心卡盘夹住毛坯一端，车端面，钻中心孔	CA6140		B3中心钻	
		（2）	顶尖顶住中心孔，粗车毛坯外圆至$\phi50$mm				
3	车	（1）	调头找正外圆后，车另一端面，保证工件总长200mm				
		（2）	车另一侧中心孔（必要时研磨两中心孔的同轴度）			B3中心钻	
4	车		毛坯装夹在两顶尖之间，车左端$\phi30$mm×（18+18）mm至尺寸，倒20°角				
5	车	（1）	调头，装夹在两顶尖之间，车右端统一车成$\phi30$mm，保证蜗杆齿形长度尺寸60mm				
		（2）	车蜗杆齿顶圆直径至$\phi48^{+0.4}_{+0.3}$mm				
		（3）	刃磨、装夹车刀，粗车刀刀尖角$\varepsilon_r<40°$，刀尖宽度小于齿根槽宽e_f，约等于2.6mm，并取径向前角$\gamma_P=10°\sim15°$，采用垂直装刀法装夹				
		（4）	粗车蜗杆第1条槽，采用左右赶刀法进给，保证齿根圆直径d_{f1}				
		（5）	采用小滑板分线法，粗车蜗杆第2条槽，达到深度要求				
		（6）	精车齿顶圆直径$\phi48^{0}_{-0.025}$mm至尺寸				
		（7）	更换蜗杆精车刀，选用径向前角$\gamma_P=0$，切削刃两侧带卷屑槽的精车刀，刀尖宽度等于齿根槽宽$e_f=0.697m=0.697\times4\text{mm}=(2.788+0.05)$mm，采用水平装刀法装夹				

（续）

×××厂	机械加工工艺卡片	产品名称	减速箱	零件图号	
		零件名称	双头蜗杆	共　页	第　页

材料	45 钢	毛坯种类	热轧圆钢	毛坯尺寸	$\phi52\times202$	每毛坯可制件数	1	每台件数	1

工序	工种	工步	工　序　内　容	设备	夹具	刃具	量具
5	车	(8)	精车蜗杆第 2 条槽，采用直进法进刀，使刀尖轻微触及齿根圆直径即可				
		(9)	采用交换齿轮法分线，精车第 1 条槽，纵向进刀量与前刻度相同				
		(10)	分别用三针测量法或用齿轮卡尺测量分度圆直径 d_1 或法向齿厚 s_n，有误差时进行修正后，用细锉或油石去除齿顶两侧的毛刺				
		(11)	粗车 $\phi25$mm 各部留精车量 0.15mm，保证长度尺寸 18mm				
		(12)	粗车 $\phi20$mm 留精车量 0.15mm，保证长度尺寸 36mm				
		(13)	精车 $\phi25^{+0.015}_{+0.002}$mm 和 $\phi25^{-0.020}_{-0.041}$mm 至尺寸，保证长度 18mm				
		(14)	精车 $\phi20^{-0.007}_{-0.026}$mm 至尺寸，倒 $C1$ 角				
6	车	(1)	调头，工件装夹在两顶尖之间，粗车 $\phi25$mm 留精车余量 0.15mm，保证长度尺寸 18mm				
		(2)	精车 $\phi25^{+0.015}_{+0.002}$mm 至尺寸，倒 $C1$ 角				
7	钳		修整蜗杆两端不完整的齿形，划键槽线，钻键槽下刀孔				
8	检验		检查				

第 9 章　车削细长杆操作技术

俗话说：车工怕长杆，钳工怕光板。可见，车削细长杆是车工操作中的一项高难技术。现将多年实践中单件车削细长杆的经验和体会，作简要总结，供有关读者参考，并期待与同行商榷。

一般把长度 L 与直径 d 的比值 $\frac{L}{d}>25$ 的轴类工件称为细长杆，如车床的光杠等。由于长丝杠在车削螺纹前，应先加工成细长杆，所以也可归于此类。

9.1　细长杆的加工特点

与一般结构件比较，细长杆的加工特点是：

1）细长杆的刚性较差。在切削过程中，在自重、离心力和切削力的综合作用下，极易产生振动和弯曲。因此，在切削细长杆时，必须使用中心架和跟刀架等机床附件，以提高工件的刚性。

2）在采用细长杆外圆跟刀架等附件操作时，车刀几何参数应与切削用量等因素相协调。

3）在车削过程中应连续作业，中途不得停车，以防止加工表面出现错位痕迹。

4）为消除或削弱离心力对工件的振动影响，一般应选择较低的切削速度。

5）由于一次进刀时间较长，切削热陆续向工件传导，使工件温度升高，从而产生轴向伸长而弯曲。因此必须连续采用切削液降温，并采取伸长量的补偿措施。

6）车刀的切削刃应始终保持锋利，以防止工件直径和表面粗糙度值的变化。

9.2　车削细长杆的工艺措施

车削细长杆的工艺措施主要是解决切削过程中工件的刚性和变形问题，其主要工艺措施是合理使用中心架和跟刀架，合理选择车刀角度，解决工件的热变形、热伸长等。

9.2.1　中心架的使用

当工件可以分段切削时，可以将中心架架在某一个支承面上，如图 9-1 所

示。这样，使 L/d 的比值按支承处的位置成比例降低，而工件的刚性则增加数倍。

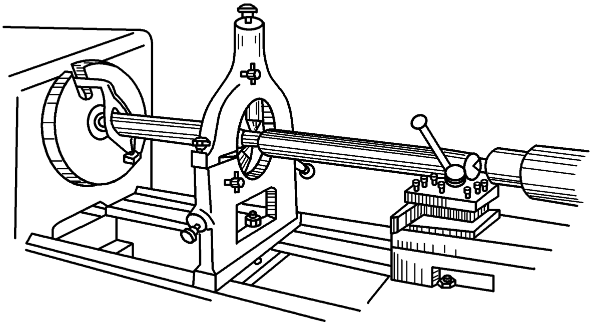


图 9-1　用中心架车细长轴

1. 支承面的车削

中心架的支承面，是车削工件的基准面，它直接影响工件的加工质量，所以支承面必须与主轴旋转轴线同轴，同时还应有较小的圆度误差和较低的表面粗糙度值。车削支承面常用的方法是：

（1）用梅花锥顶套　当毛坯两端未打中心孔时，可用卡盘夹住一端后，将梅花锥顶套安装在活顶尖头部，梅花锥顶套内具有齿形的圆锥面与毛坯端角接触，找正后顶紧，车削中心架的支承面 O，如图 9-2 所示。

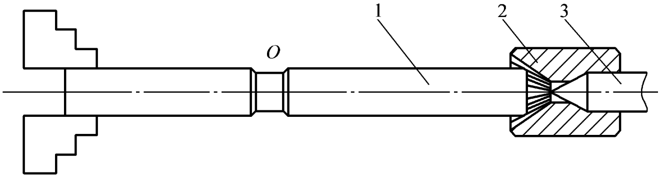


图 9-2　车削中心架支承面

1—毛坯　2—梅花锥顶套　3—活顶夹

（2）用辅助套筒找正支承面　将两端各有均匀分布 4 个螺钉的套筒套在毛坯外圆合适的位置上，如图 9-3 所示。首先应通过调整两端的螺钉，用百分表检测，使套筒轴线与主轴旋转轴线重合，如图 9-3a 所示。这时，将中心架固定在需要的位置上以后，将中心架支承爪均匀支承在辅助套筒外圆上，如图 9-3b 所示。

2. 中心架的使用技巧

（1）中心架的应用形式

1）将中心架支承在工件中部合适的支承面上，如图 9-3 所示将中心架支承在辅助套筒上。

2）一端夹住，一端用中心架支承，这种使用形式多用于车削端面和中心

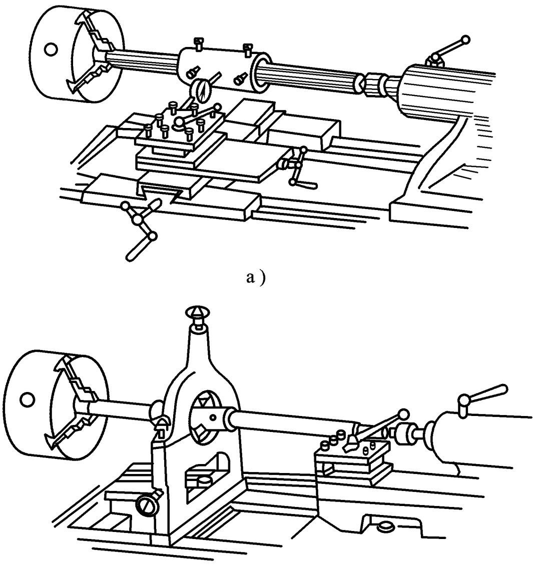
孔，以及车削长轴上的深孔，如车削或修复车床尾座套筒的圆锥孔等。

（2）中心架的操作要领

1）中心架的操作程序是，将中心架固定在床身后，在工件旋转状态下，先使下部两支承爪均匀触及工件支承面后锁紧，再紧扣上盖，调节上支承爪位置，合适后锁紧。支承爪应施力均匀，松紧适度，自然顺畅。

2）各支承爪应施力均衡，使支承面保持在原来的空间状态，即支承面与主轴旋转中心同轴，以防止各支承爪压力不均而偏离中心，产生过定位的现象。

过定位会使工件产生锥度，严重时，工件在旋转时产生频繁扭动，从而导致工件脱出而发生事故。



a）

b）

图 9-3　辅助套筒的调整

a）辅助套筒的使用　b）辅助套筒的调整

3）在采用夹住一端用中心架支承另一端的装夹形式时，应采用对称十字中心线或检测上母线和侧母线的方法找正工件。因为中心架三个支承爪本身就有定心作用，调节各爪即可决定支承面的空间位置，这时用划线盘或百分表测量，其摆动值永远是零。那么，这时工件的装夹位置是否正确呢？在这种状态下，用中心钻靠近工件端面，这时中心钻必然偏离工件旋转中心，只有当中心钻对准工件旋转中心时，才可作钻中心孔操作，即必须采用对称十字中心线或检测工件的上母线和侧母线，使它们与车床导轨平行，从而找正工件，使工件轴线与主轴回转中心重合。

4）在支承精度较高的工件表面时，为防止支承爪磨损工件表面，应在中心架各支承爪与支承面之间垫上一层纯铜片或细砂布，砂布背面应贴在工件表面上。当工件表面有键槽或缺口时，则可采用黄铜套环装在工件外表面上，作中心架的支承面。

5）经常在支承爪处加注润滑油，以减轻支承爪的磨损。

6）随时检查支承爪的磨损状况，支承松动时应及时调整。

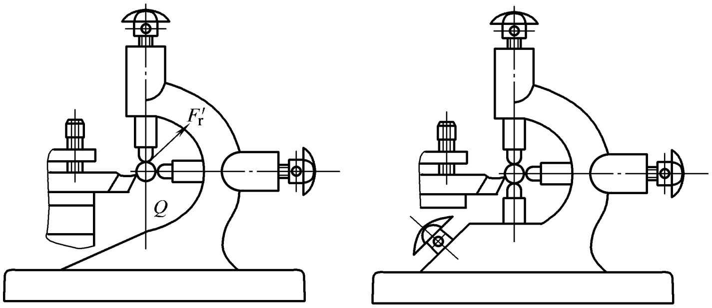
9.2.2　跟刀架的使用

使用中心架只能分段切削工件各部分，在工件外圆会出现接刀痕迹。对于不

允许有接刀的工件，应使用跟刀架切削细长杆。

1. 跟刀架的运作机理

跟刀架有两个或三个支承爪两种形式，如图 9-4 所示。它固定在床鞍上，与车刀错开一段距离，跟车刀一起作纵向移动，如图 9-5 所示。跟刀架的支承爪起支承工件的作用，抵抗车刀车削产生的径向力，而车刀也起着支承作用，以增强工件的刚性，减少变形，提高细长杆的形位精度。



a）　　b）

图 9-4　跟刀架的结构形式

a）两爪跟刀架　b）三爪跟刀架

目前常用的是两个支承爪的跟刀架，靠车刀的径向切削力使工件紧贴在两个支承爪上，结构和操作比较简单。但当径向力较小时，工件自身的重力或旋转的离心力，会使工件下垂而弯曲，从而离开支承爪而产生振动。三个爪的跟刀架则使工件在上、下、前、后都不能移动，使车削稳定。

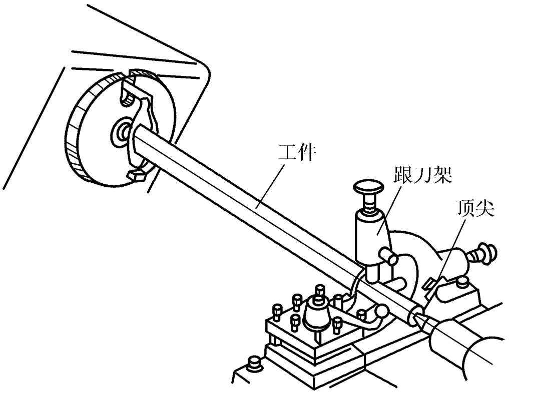


图 9-5　跟刀架的使用

2. 跟刀架的运作特点

在使用跟刀架进行切削时，被支承爪支承的工件直径对车刀背吃刀量有直接影响，主要表现在：

1）当工件直径不发生变化时，车刀背吃刀量和后序车出的直径也不发生变化，即后序直径依托支承面直径，保持原有的平稳状态。

2）当工件直径发生变化时，车刀背吃刀量也随之变化。

①当工件直径趋于增大时，支承爪迫使工件后移，使车刀的相对位置产生向前移动的趋势，车刀背吃刀量增大，从而工件直径变小。

②当工件直径趋于减小时，同理，使工件直径变大。

3. 跟刀架的应用形式

跟刀架的应用形式有以下两种：

（1）车刀在前、跟刀架在后　这种应用形式有以下几种情况：

1）粗车毛坯料表面时，先在刚性较强的尾座顶尖一端进刀，车削出直径相当、形位规范的一段圆柱面后，分别将铸铁材料的跟刀架支承爪逐渐柔和地触及圆柱面并锁紧，在车刀和支承爪的支承作用下，边支承，边切削，边开拓支承面的切削方式，平稳地向前推进，以形成较好的工件外表面。

2）当由于离心力、振动以及车刀或支承爪磨损等原因，工件外表面质量较差时，可应用以上的方式，采用小背吃刀量、大进给方式进行多项切削。

车刀在前、跟刀架在后的操作是车削细长杆过程的基础操作形式，它切削形成的工件外表面是后序加工的基准面和支承面，对工件的加工质量有决定性的影响作用。

（2）跟刀架在前、车刀在后　它是将跟刀架支承爪支承在已加工的工件外径上，采用车刀紧跟其后的应用形式。

1）当粗车形成的外圆的形位精度，如圆度、同轴度和圆柱度精度较好时，可将跟刀架的支承爪更换成硬度较高的耐磨材料，以外圆为支承面，车刀在支承爪的引导下，进行外圆的半精加工和精加工。

2）如果工件直径产生按比例逐渐增大的锥度时，表明车刀或支承爪磨损严重。这时，可在原来的切削条件下，如车刀、支承爪及切削用量不变的情况下，将跟刀架支承爪支承在带锥度的工件外圆上，车刀随后的切削方式，利用跟刀架支承面直径变大，车刀背吃刀量变大，从而被切削直径变小的特点，再加上原切削条件下抵消了车刀和支承爪大体相同的磨损，则可对带锥度的直径纠偏，一般都能获得较好的圆柱面，再更换硬度较高的支承爪，进行半精加工和精加工。

9.2.3　合理选择切削参数

在车削细长杆时，由于工件刚性差，为了减小切削力、切削热、热变形和切削振动，应选择合理的切削参数。

1. 合理选择车刀的几何参数

根据细长杆刚性差、易变形的特点，要求车刀必须具有在切削时径向切削力小、切削刃保持锋利和车出的工件表面粗糙度值低等特点。一般情况下车刀几何参数的选择原则是：

1）为减小径向切削力，应选择主偏角较大的车刀。

2）为减小切削力和切削热，应选择前角较大的车刀。

3）一般应选择正值刃倾角，前刀面应磨有内斜式卷屑槽，使排屑向远离工

件的方向流出，以防止切屑缠绕，影响正常切削。

4）为增强主切削刃的强度和减少切削振动，应选用较小的主后角。

5）为防止切削振动，应选择较小的刀尖圆弧半径。

6）切削刃应精心研磨，表面粗糙度值 R_a 应在 0.32μm 以下，并经常修整，保持锋利状态。

车细长杆粗车刀的几何参数如图 9-6 所示。

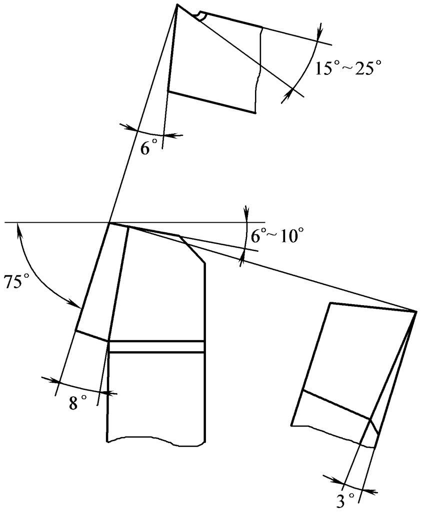


图 9-6　车细长杆的粗车刀的几何参数

2. 切削用量

由于细长杆刚性较差，所以在车削时，切削用量应适当减小。为减小径向切削力以减轻振动，多采用小背吃刀量多次进刀的切削方式。在单件车削细长杆时，多采用高速钢车刀进行低速切削。由于细长杆的刚性较差，为防止工件旋转产生的离心力引起的弯曲和切削振动，在一般情况下，粗车时，切削速度 $v_c < 30$m/min，背吃刀量 $a_p < 2$mm，进给量 f 在 0.2mm/r 左右；精车时，切削速度 $v_c < 15$m/min，背吃刀量 a_p 在 0.15mm 左右，进给量 f 在 0.5mm/r 左右。在精车时，由于背吃刀量较小，为保证径向切削力始终使工件紧贴上支承爪，除了在切削刃前端设置过渡刃外，还应适当加大进给量，以提高车刀的径向切削力。

切削用量特别是背吃刀量和进给量的大小，对车刀几何参数特别是对主偏角有直接影响。在生产实践中，往往根据背吃刀量或进给量选择车刀的主偏角。合理的主偏角应在选定的背吃刀量或进给量的切削过程中，既具有较小的径向切削力，又能使它将工件推向并始终紧贴支承爪的支承面。由于改变主偏角可改变径向切削力，而径向切削力又应满足背吃刀量大小的需要，所以它们的协调关系为：

1）车刀主偏角应随着背吃刀量的增大而增大，随着背吃刀量的减小而减小。

2）使工件承受的径向切削力最小的状况下，仍能将工件推向并始终紧贴支承爪。

3）尽量降低切削力对支承爪的径向压力，以减小支承爪的磨损。

因此，在一般情况下，车刀主偏角应根据背吃刀量的大小来选择。即当背吃刀量较大时，应选择较大的主偏角；而在精车时，可选用主偏角为零的修光刃，但由于背吃刀量很小，则可采用在修光刃前端设置过渡刃或增大进给量的方法，增大径向切削力。

9.2.4 消除切削热的影响

在切削过程中产生的切削热以及工件与支承爪产生的摩擦热，使工件温度升高而产生热变形伸长。

热变形伸长量可按下式计算

$$\Delta L = \alpha L \Delta t \tag{9-1}$$

式中 ΔL——热变形伸长量（mm）；

α——材料线胀系数（1/℃），（45 钢的 $\alpha = 11.59 \times 10^{-6}$ 1/℃）；

L——工件总长（mm）；

Δt——工件升高的温度（℃）。

例：车削直径 $\phi = 30$mm、长度 $L = 1403$mm 的车床丝杠，材料为 45 钢，切削热量使工件温度由 20℃上升到 50℃。求在这种状态下，工件的热变形伸长量。

解：已知 $\alpha = 11.59 \times 10^{-6}$ 1/℃，$L = 1403$mm，$\Delta t = 50℃ - 20℃ = 30℃$

根据式（9-1）

$$\Delta L = \alpha L \Delta t = 11.59 \times 10^{-6} \times 1403 \times 30\text{mm} = 0.488\text{mm}$$

由于细长杆的长度较长，其热变形伸长量较大，对切削的影响显著，热变形伸长量可导致工件产生弯曲变形，严重时，会研坏中心孔，产生事故，无法进行车削。

减小工件热伸长的主要措施有：

1）充分加注切削液。在切削细长杆时，不论是低速切削还是高速切削，都必须充分加注切削液，将切削热及时带走，以减少工件的热变形伸长。同时，切削液不但可对切削区进行冷却，还可对跟刀架支承面进行润滑，以减轻摩擦损耗。

2）始终保持刀具锋利状态，以减少切削力和切削热。

3）采用热伸长补偿措施。如弹性回转顶尖是一种可以沿轴线方向产生弹性变形的活动顶尖，其结构形式如图 9-7 所示。弹性回转顶尖可对工件热伸长起补

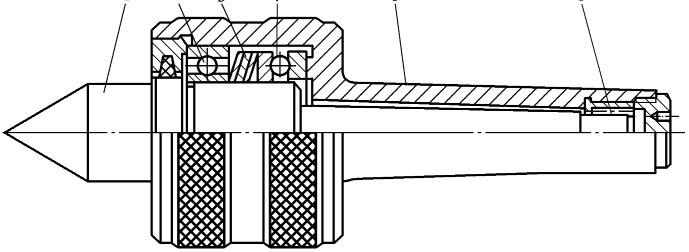


图 9-7 弹性回转顶尖的结构形式

1—活动顶尖 2—深沟球轴承 3—碟形弹簧
4—推力球轴承 5—支承体 6—滚针轴承

偿作用。它的结构特点是：活动顶尖 1 在跨度较大的深沟球轴承 2 和滚针轴承 6 的支承作用下，刚性好，运转状态稳定、可靠；推力球轴承 4 承受轴向推力。在深沟球轴承和推力球轴承之间，放置几片碟形弹簧 3。当工件受热产生变形伸长时，工件的轴向伸长量通过深沟球轴承 2 的内圈，使碟形弹簧压缩变形，工件的伸长量被自由舒展，从而弥补了热伸长对切削的影响。

9.3　车削细长杆的操作程序

9.3.1　车前准备工作

车前准备工作是顺利车削细长杆的必要条件。

1. 车床精度的局部调整

根据细长杆的加工特点，在车削前应对车床的几项精度进行局部调整。

1）检测主轴轴承间隙、径向圆跳动和轴向窜动状况，并作相应的调整，以防止产生切削振动和形位误差。

2）按技术规范检测尾座轴线与主轴线的相对位置。将长验棒顶在两顶尖之间，反复检测验棒的上母线和侧母线，使尾座中心与主轴中心同轴，它们的中心连线又与导轨的全长平行。

3）调整各滑板的移动间隙，不能过紧或过松，达到既无卡滞，又轻便灵活状态，以保证进刀平稳、准确，防止扎刀现象。

4）调整车床各传动部位的动平衡状态，使各部运行平稳，防止产生规律性的周期波动。

2. 修正跟刀架支承爪

1）支承爪应选用耐磨性能好的材料，一般选用 QT500-7 球墨铸铁，特殊情况下可选用淬硬钢材。

2）先车削直径为 ϕ20～25mm 的支承爪，各爪直径相等，以保证各支承爪工作面的起止点相同，使它们相对于车刀切削刃的距离相等，避免因工件受到不均衡的侧压力而产生扭曲变形。

3）为便于排屑和散热，应将支承爪工作面作成腰鼓形，即在外径处铣扁，其径向宽度取 10～15mm。

4）修整各支承爪，使工作面形成略大于工件半径的弧面，并与工件轴心平行和具有较好的表面质量，以保证支承力的稳定和提高耐磨性能。修整支承爪的常用方法有：

①将支承爪调节到与被加工直径相等的位置上锁紧后：

a. 将内孔车刀装夹在四爪单动卡盘上，以刀尖的旋转直径略大于被加工直

径，镗削各支承爪工作面。

b. 用钻夹头将略大于被加工直径的立铣刀装夹在车床主轴上，铣削各支承爪工作面。

②必要时，应对支承爪工作面进行研磨，即将直径略大于被加工直径的铸铁棒装夹在卡盘上，涂上研磨剂，在铸铁棒旋转时，使支承爪工作面触及后进行研磨，直至研磨面均匀。

3. 修整支承爪紧固装置

在支承爪触及工件外圆后锁紧过程中，往往使支承爪产生微量位移，使背吃刀量发生变化，而影响切削效果。其主要原因和解决措施是：

1）紧固装置是通过紧固螺钉对移动轴上的键槽底部施压而将支承爪锁紧的。紧固螺钉头部的光台，对键槽起类似于平键的导向作用。因此，紧固螺钉头部光台的直径应与移动轴上键槽宽度配合良好，才能控制支承爪的直线位移。当然，移动轴上的键槽两侧也应有较好的尺寸精度。如配合间隙过大，在支承爪移动时，会产生歪扭现象，从而在锁紧时，会导致微量变化。这时，应首先修整键槽两侧的尺寸精度、直线度以及表面粗糙度以后，再修整或更换紧固螺钉，以保证支承爪的直线位移精度。

2）紧固螺钉的施压头部与螺纹旋转中心错位以及表面粗糙引起的。因此，应对紧固螺钉的头部进行修整，使之与螺纹旋转轴线同轴和得到较好的表面质量。

3）移动轴上的键槽底部不光滑，锁紧时，锁紧处产生滑移，使支承爪产生微量位移。所以应对键槽底部进行既平又光的修整。

9.3.2　中心孔的车削与研磨

中心孔是细长杆的加工基准和测量基准，所以在车削两端的中心孔时，必须保证两端中心孔在同一轴线上，满足两端中心孔的同轴度、圆度、角度精度及表面粗糙度的技术要求，必要时，还应进行研磨。

1. 车削中心孔

根据具体情况，车削中心孔有如下几种方法：

1）当毛坯直径小于车床主轴的通孔时，将毛坯料装入主轴中，伸出适当长度，用卡盘夹紧后，先车端面，再钻这一侧的中心孔后，将毛坯料抽出，用卡盘夹住一端，另一端用活顶尖顶住，进行粗车。

粗车后再调头找正后车另一端的端面和中心孔。

这种操作方法车削的两端中心孔，一般不在同一轴线上。因此，在采用双顶装夹前，在必要时，应对两端的中心孔进行修正或研磨。

2）当毛坯直径大于主轴通孔或毛坯弯曲较大时，两端中心孔的车削方法

是：

①先用四爪单动卡盘夹住毛坯料的一端，再用装套在活顶尖上的梅花锥顶套内的圆锥齿面顶住毛坯另一端直径的外缘。

②利用四爪单动卡盘单动的特点，调整毛坯料的整体圆心位置，将弯曲部分“借正”后，夹紧、顶牢。

③分别在毛坯两端处车削出直径相同的 *A*、*B* 两段圆柱面，作为中心架的支承面，如图 9-8 所示。

④将中心架支承在圆柱面 *A* 后，退出顶套，车这一端的端面和中心孔。

⑤调头。将圆柱面 *B* 支承在现状态下的中心架上，用四爪单动卡盘夹紧另一端并找正后夹紧，车削另一端的端面和中心孔。

用这种方法车削的两端中心孔，同轴度较好，多用于精密细长杆的车削。

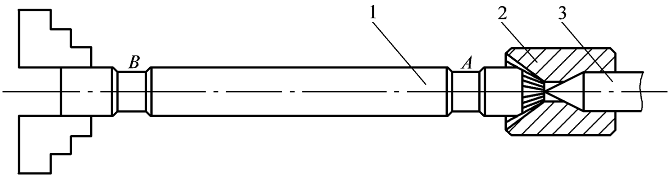


图 9-8　车两端中心孔的方法

1—毛坯　2—梅花锥顶套　3—活顶夹

2. 修研中心孔

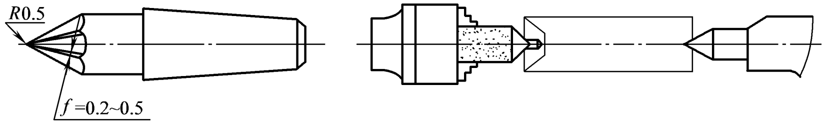
为了提高细长杆的加工质量，修研细长杆两端的中心孔是重要的工艺措施之一，特别是在车削精密丝杠时，更是必不可少的工序。修研中心孔的主要作用是：

1）修正车削中心孔时形成的两端中心孔的原始同轴度误差。

2）修正热处理后中心孔的氧化或变形。

3）修正在粗加工毛坯料时，因切削力起伏变化而引起中心孔的变形或磨损。

修研中心孔的常用方法如图 9-9 所示。



a）　　　　b）

图 9-9　修研中心孔

a）中心孔同轴度误差较大　b）用铸铁、磨石等做成顶尖作研磨工具

①当中心孔的同轴度误差较大时，可将图 9-9a 所示的具有圆锥刃带的硬质

合金顶尖装入主轴锥孔内，尾座顶尖将工件顶住后，在主轴旋转时握住工件，通过刃带对中心孔的微量切削和挤压作用下，提高中心孔的精度。

②用铸铁、磨石等做成顶尖作研磨工具，再用尾座顶尖将工件夹持在中间，并在中心孔内加入少量研磨剂或润滑油，在卡盘运转过程中，手持工件缓慢转动，如图 9-9b 所示。当两端中心孔交替研磨，使两中心孔均有完整的研磨面时，即达到两中心孔的同轴度、圆度、角度和表面粗糙度的技术要求。

这种方法修研质量好、操作简单，但由于研具的磨损，需要经常修正。多用于中心孔的精度尚好，或对硬质合金顶尖修复后的研磨。

为便于修整、研磨和对中心孔的保护，最好采用带护锥的 B 型中心钻，或 R 型中心钻。

9.3.3 细长杆的装夹形式

车削细长杆时，工件的装夹形式有以下几种：

1. 两端双顶

车削细长杆的常用形式是两端双顶的装夹形式。当毛坯件弯曲较小，各段均有足够的切削余量时，可按工件总长略留余量下料，分别车两端面和中心孔，并对两中心孔进行同轴度修研后，将工件装夹在两顶尖之间。

装夹形式如图 9-10 所示。图 9-10a 为将前顶尖 4 装入主轴锥孔内，先将鸡心夹头 2（或对分夹头）套在工件 3 一端，两顶尖顶住工件后，在合适位置将鸡心夹头拧紧。开车后，拨盘 1 拨动鸡心夹头和工件 3 旋转。为消除前顶尖的安装误差和简化操作程序，也可在卡盘上夹持一段带台肩的短料，自制前顶尖 4，工件装夹后，通过卡盘卡爪 5 拨动鸡心夹头和工件旋转，如图 9-10b 所示。

2. 一夹一顶

在车削无台阶的细长杆如车床光杠时，可采用一夹一顶的装夹形式。按留出夹头和跟刀架的工艺需要留量下料，在车削一端的端面和中心孔后，用卡盘夹紧一端，将另一端的中心孔对准研具修研后，用尾座顶尖顶住。

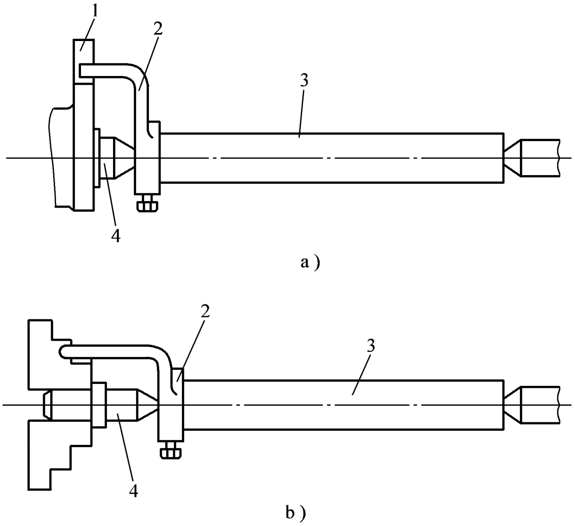


图 9-10　两端双顶装夹工件的装夹形式

1—拨盘　2—鸡心夹头　3—工件　4—前顶尖

在卡盘夹持工件时，夹持面不宜过长，可在被夹持的位置上垫宽为 5 ~ 8mm 的厚金属板，如图 9-11 所示。这样，将工件夹紧后，用手握住另一端，作上、下、左、右摆动，使它们在各个方向都能以夹持面为原点摆动，使毛坯料在自如舒展的状态下，被尾座顶尖顶住，以防止因强力扭曲使内应力发生变化而产生弯曲变形。

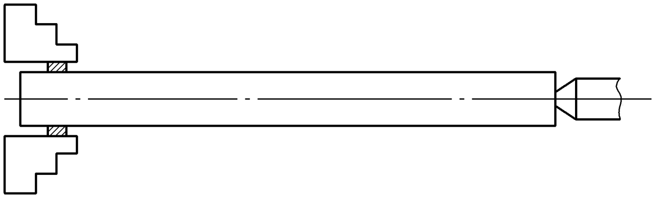


图 9-11　一夹一顶工件的装夹形式

装夹后，经过粗车、半精车和精车的几次进刀，工件直径达到尺寸精度和表面粗糙度要求时，按工件总长度切断，并在铣出键槽后进行低温人工校直。

这种装夹和切削形式，可避免因接刀错位产生尺寸和形位误差。

3. 两种装夹形式的综合使用

当毛坯料弯曲度较大时，可先采用一夹一顶，再采用两端双顶的综合装夹措施。

1）在按总长度（略留余量）下料后，先车毛坯料一端的端面和中心孔，然后用四爪单动卡盘夹持另一端，将弯曲部位“借正”，使毛坯各段均有足够的加工余量后夹紧，并用尾座顶尖顶牢后进行粗车见圆。

2）将工件卸下调头，卡盘夹持一端，将中心架支承在粗车的另一端，用百分表找正工件上母线和侧母线后夹紧，车端面和中心孔。修研两端的中心孔后，工件顶在两顶尖之间，用鸡心夹头、拨盘等辅助工具夹紧工件，再用跟刀架进行再次粗车以及半精车和精车操作。

为防止中心孔磨损，除精度要求特别高的工件外，尾座顶尖一般采用如图 9-7 所示的弹性回转顶尖。弹性回转顶尖一般可以自制。弹性回转顶尖应有较高的组装精度和柔和的伸缩弹性，以保证车削细长杆的技术要求。所以应对自制的弹性回转顶尖的各项精度进行自我检测。其基本方法是：

1）将活动顶尖支承体固定后，百分表测头置于活动顶尖圆柱面上方，手握活动顶尖端部作上下摆动，观察百分表指针变化，检测活动顶尖径向配合间隙。

2）握住活动顶尖端部回转，观察百分表指针变化，检测活动顶尖的静态同轴度精度。

3）将验棒装夹在前顶尖和弹性回转顶尖之间，百分表测头触及验棒端部上方，握住验棒并慢慢转动，观察百分表指针变化，检测活动顶尖在正常工作状态

下的同轴度精度；顶紧验棒，使活动顶尖收缩，再转动验棒，观察百分表指针变化，检测活动顶尖在压缩状态下的同轴度精度。

4）松动活动顶尖，依次调整和改变活动顶尖与验棒的相对位置，顶紧后，重复以上的检测程序，分别观察百分表指针变化状况，测定在不同的相对位置、活动顶尖的同轴度精度。

9.3.4 跟刀架操作技巧

正确使用跟刀架是车削细长杆的关键。在应用跟刀架车削细长杆时，需要有较高的操作技能、丰富的现场经验和灵活的应变能力。现将在单件车削细长杆实践中积累的操作技巧和操作要点作如下归纳：

（1）选材　在单件车削细长杆工件时，选取理想的毛坯材料是保证工件质量的基础。

1）选取符合图样要求的钢号。

2）选取内部组织较为稳定的钢材。一般情况下，应选取经过天然时效的材料。它们在长期的风吹雨淋，虽然锈迹斑斑，但内应力得到充分消除，内部组织比较稳定，因此在切削过程中不容易变形，所以一般不必进行热处理。

3）应选用直线度较好的一段钢材。

4）当选用未经天然时效的新轧钢料时，应在加工前或粗加工后进行低温时效处理，必要时也可进行正火处理，以细化晶粒，改善切削性能。

（2）作好车前准备工作　如车床精度的局部调整，修整跟刀架支承爪等。

（3）车削中心孔　必要时应对两端中心孔进行研磨，以保证两端中心孔的同轴度、圆度、角度和表面粗糙度的技术要求。

（4）装夹工件

1）选用弹性回转顶尖，检测其回转精度是否符合技术要求。

2）在尾座套筒伸出部分尽量短的位置上锁紧尾座，以增强尾座部分的整体刚性而减少振动。

3）顶尖的顶压力应适当，一般以在开车时用手指轻轻握住活顶尖头部，使其不随工件旋转为宜。顶后将尾座套筒锁紧。

4）鸡心夹头与拨盘的着力点应在圆周处相切，以防止在拨动时产生径向扭力而引起工件的扭曲变形。

（5）车刀主偏角应与背吃刀量相协调，即随着背吃刀量的增大而增大；反之减小，或设置刀尖圆弧以及过渡刃，以保证在径向切削力最小时，仍能使工件紧贴上支承爪。

（6）车刀切削刃应尽量靠近跟刀架支承爪，一般应在 2mm 左右，以减小切削扭力，使切削平稳。为不影响排屑，应选用正刃倾角和内斜式卷屑槽的车刀，

使切屑远离工件。

（7）在采用车刀在前、跟刀架在后的切削形式时，应从尾座一端进刀

1）在尾座顶尖的支承作用下，可车出形位规范、直径相当的一段圆柱面，作为支承爪的支承面。

2）将跟刀架支承爪柔和地靠近圆柱面，使各支承爪既紧密接触，又不引起车刀径向切削量极其微小的变化，然后分别锁紧各支承爪，在锁紧时，各支承爪应在原来的位置不动。

3）调节两爪跟刀架支承爪的顺序是：先上侧，后外侧；调节三爪跟刀架支承爪的顺序是：先下侧、次上侧、后外侧。其中调节外侧支承爪的操作最重要，它直接影响车刀背吃刀量的变化，所以当调节过量时，使得车刀背吃刀量瞬间增大，车削平面形成凹痕，产生切削缺陷。

（8）其他应该注意的问题

1）不论是低速还是高速切削细长杆，必须加注充分的切削液。一般在粗车时用乳化液，精车时用硫化切削液或植物油，以保证刀总处于锐利状态。

2）在车削细长杆时，每一次进刀应连续作业，中途不得停车，以防止因切削骤停或工件温度的变化而产生的切削错位痕迹。

3）当工件的长径比大于 80 时，应采用三爪跟刀架，以克服工件重力对切削的干扰。

4）应选取较低的切削速度车削细长杆，以防止过大的离心力引起工件的弯曲和切削振动。

5）当毛坯或工件弯曲时，一般不采用冷直的方法校直。冷直校正的毛坯组织内部的应力并没有消失，在加工后，原应力会顽强地表现出来，从而使工件恢复到原来的弯曲状态。所以，一般应采用低温校直的方法。

6）在歇班时细长杆的半成品，或车削完成的成品，应垂直吊放，以防弯曲变形。

【实例 9-1】　丝杠加工工艺实例

单件车削如图 9-12 所示的车床丝杠，材料为 45 钢，试编制机械加工工艺卡片。

1. 工艺分析

1）选材。由于是单件生产，在积压的材料库中，选取材质和直径满足要求的较直的一段毛坯，45 钢 $\phi 38\text{mm} \times 1405\text{mm}$。由于材料已经过长期的自然时效过程，可只在整圆的粗车后进行低温时效处理。

2）工件为多台阶丝杠，采用两端双顶的装夹方式。

3）为保证两端中心孔的形位精度，借助中心架分别支承两端车削中心孔的方法，并在低温时效后，修研两端中心孔。

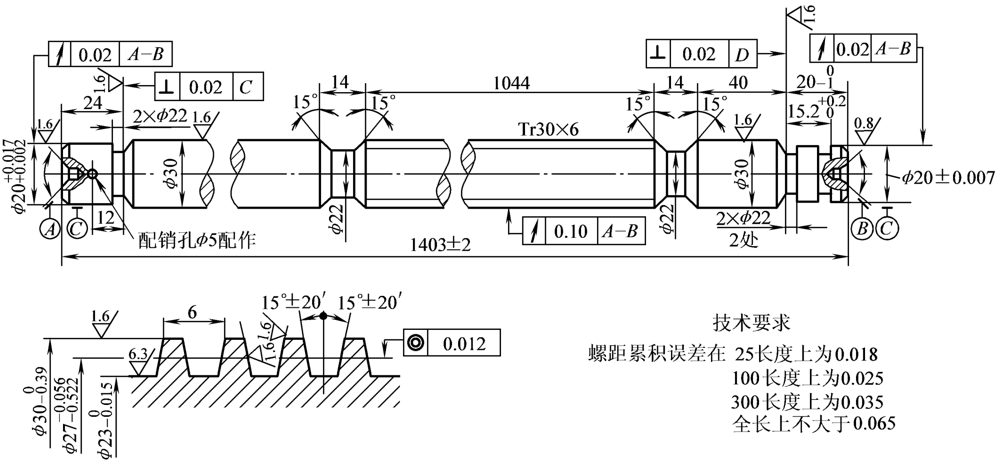


图 9-12　车床丝杠

4）由于是单件生产，故采用高速钢车刀进行低速切削。

5）车外圆时，主偏角 κ_r：粗车时 $\kappa_r=75°$，半精车时 $\kappa_r=45°$，精车时 $\kappa_r=0°$带过渡刃的修光刃车刀。

6）粗车外圆时，跟刀架选用球墨铸铁的支承爪；当外圆的形位精度达到要求后，更换成淬硬的支承爪。

7）应采取左右赶刀法粗车螺纹。由于梯形螺纹螺距不大，为保证牙型精度，应采用水平装刀形式用直进法精车螺纹。

2. 丝杠机械加工工艺卡片

丝杠机械加工工艺卡片见表 9-1。

表 9-1　丝杠机械加工工艺卡片

×××厂		机械加工工艺卡片	产品名称	普通车床	零件图号		
			零件名称	传动丝杠	共　页	第　页	
材料	45 钢	毛坯种类	热轧圆钢	毛坯尺寸	ϕ38mm × 1405mm	每毛坯可制件数 1	每台件数 1
工序	工种	工步	工　序　内　容	设备	夹具	刀具	量具
1	车	（1）	用四爪单动卡盘夹住毛坯料一端，另一端用梅花锥顶套顶住外圆外缘，用卡盘单动卡爪调整毛坯料整体圆心位置，保证各段均有足够的加工余量后夹紧	CA6140		B3 中心钻	
		（2）	在毛坯两端处分别车出直径相同的中心架支承面				
		（3）	将中心架支承在毛坯前端的支承面上，撤出顶套，车端面和中心孔				

（续）

×××厂	机械加工工艺卡片	产品名称	减速箱	零件图号	
		零件名称	传动丝杠	共　　页	第　　页

材料	45 钢	毛坯种类	热轧圆钢	毛坯尺寸	ϕ38mm × 1405mm	每毛坯可制件数	1	每台件数	1

工序	工种	工步	工　序　内　容	设备	夹具	刃具	量具
2	车		调头，将现状态的中心架支承在另一支承面上，车端面，保证总长度（1403 ± 2）mm，车中心孔				
3	车		装夹带台肩的短料，车前顶尖				
4	车	（1）	将毛坯料装在鸡心夹头内，并装夹在两顶尖之间				
		（2）	选用主偏角 $\kappa_r = 75°$ 的外圆车刀，采用车刀在前、跟刀架在后的切削形式。背吃刀量应使毛坯料各段均能车圆，从尾座顶尖处进刀，在形成一段形位规范的圆柱面后，使跟刀架支承爪分别触及圆柱面后锁紧，进行第一次粗车，进刀至鸡心夹头附近				
5	热		低温时效处理				
6	车		修研两端中心孔				
7	车	（1）	按上述装夹方法和切削形式进行第二次粗车				
		（2）	检测工件外圆。当形位精度达不到要求时，采用较小的背吃刀量和较大的进给量，重复以上的粗车过程				
		（3）	粗车使工件外圆的形位精度达到要求时，则以外圆作为支承面，采用跟刀架在前、车刀在后的切削形式，进行外圆的半精车。必要时可更换成淬硬的跟刀架支承爪				
		（4）	精车外圆，保证 ϕ30mm 尺寸和整体形位精度				
		（5）	车螺纹起止处退刀槽，保证直径 ϕ22mm 和各部长度尺寸				
		（6）	采用左右赶刀法粗车梯形螺纹，车至螺纹小径，保证尺寸精度 $\phi 23^{\ 0}_{-0.035}$mm，牙型每侧各留 0.1 ~ 0.2mm 的精车余量				
		（7）	更换螺纹精车刀，采用水平装刀形式和直进法进刀，精车梯形螺纹				
		（8）	用三针法测量螺纹中径，达到 $\phi 27^{-0.056}_{-0.522}$mm 尺寸精度要求				
		（9）	用磨石或细锉去除牙型两侧的尖角或毛刺				

（续）

×××厂	机械加工工艺卡片	产品名称	减速箱	零件图号					
		零件名称	传动丝杠	共　页	第　页				
材料	45 钢	毛坯种类	热轧圆钢	毛坯尺寸	ϕ38mm × 1405mm	每毛坯可制件数	1	每台件数	1

工序	工种	工步	工序内容	设备	夹具	刃具	量具
7	车	（10）	粗车 ϕ20mm 处，留精车余量 0.1mm				
		（11）	车 2 × ϕ22mm 沟槽，保证尺寸 $20^{+0.2}_{0}$ mm 和 $15.2^{+0.2}_{0}$ mm				
		（12）	精车 $\phi(20 \pm 0.007)$ mm，保证尺寸精度				
		（13）	倒角				
8	车	（1）	调头，粗车 ϕ20mm 处留精车余量 0.1mm				
		（2）	车 2 × ϕ22mm 沟槽，保证尺寸 24mm				
		（3）	精车 $\phi20^{+0.017}_{+0.002}$ mm，保证尺寸精度				
		（4）	倒角				

3. 车削长丝杠外圆有关切削参数的选择实录

车削长丝杠的操作过程中，车削外圆是重要的加工工序。车削出形位规范的圆柱面，可作为车削的基准面和支承面，从而保证丝杠的加工质量；如果操作或切削参数选择不当，则会产生切削缺陷，严重时可能报废。因此除注重操作的基本方法外，还应选择合适的切削参数。

在切削上述的长丝杠时，由于是单件生产，故采用高速钢车刀在 C620—1 型车床上进行低速切削。在车削长丝杠外圆时，有关切削参数作如下选择：

（1）背吃刀量 a_p　毛坯料的总背吃刀量 a_p 为

$$a_p = \frac{d_{坯} - d}{2} = \frac{38 - 30}{2}\text{mm} = 4\text{mm}$$

拟进行四次进刀，那么各次进刀的背吃刀量和进给量 f 分别为

1）粗车Ⅰ：$a_{p1} = 2\text{mm}$，$f_1 = 0.15\text{mm/r}$。

2）粗车Ⅱ：$a_{p2} = 1.85\text{mm}$，$f_2 = 0.2\text{mm/r}$。

3）半精车：$a_{p3} = 1\text{mm}$，$f_3 = 0.2\text{mm/r}$。

4）精车：$a_{p4} = 0.15\text{mm}$，$f_4 = 0.5\text{mm/r}$。

在第一次粗车时，首先考虑其背吃刀量 a_{p1} 应尽量大些，使得各部都能车成整圆。

（2）车刀主偏角 κ_r　车刀主偏角应根据背吃刀量的大小而变化。在粗车时，背吃刀量较大，应选取较大的主偏角；在精车时，由于背吃刀量较小，则应有意识地增大进给量，并在带有过渡刃的修光车刀力作用下，增大径向切削力，使工

件始终紧贴跟刀架支承爪。

（3）切削速度 v_c　由于采用高速钢车刀进行低速切削，在粗车和半精车时，拟选用的切削速度 $v_c = 25\text{mm/min}$，则主轴转速为

$$n_1 = \frac{1000v_c}{\pi d} = \frac{1000 \times 25}{3.14 \times 38}\text{r/min} = 209\text{r/min}$$

选取车床转速为 $n_1 = 185\text{r/min}$，这时的切削速度为

$$v_{c1} = \frac{\pi dn}{1000} = \frac{3.14 \times 38 \times 185}{1000}\text{m/min} = 22.07\text{m/min}$$

在精车时，拟选用的切削速度是 $v_c = 12\text{m/min}$，则主轴转速为

$$n_2 = \frac{1000v_c}{\pi d} = \frac{1000 \times 12}{3.14 \times 30.3}\text{r/min} = 126.13\text{r/min}$$

选取车床转速为 $n_2 = 120\text{r/min}$，这时的切削速度为

$$v_{c1} = \frac{\pi dn}{1000} = \frac{3.14 \times 30.3 \times 120}{1000}\text{m/min} = 11.42\text{m/min}$$

4. 切削丝杠外圆有关切削参数实录

在车削丝杠外圆时，实际采用的有关切削参数实录见表 9-2。

表 9-2　车削丝杠外圆有关切削参数实录

加工内容	跟刀架位置	车刀主偏角 κ_r/(°)	v_c/(m/min)	n/(r/min)	a_p/mm	f/mm	所用时间/min
粗车 Ⅰ	在车刀前	75	22.07	185	2	0.15	49
粗车 Ⅱ	在车刀前	75	24.55	230	1.85	0.2	29.5
半精车	在车刀后	45	21.88	230	1	0.2	28.9
精车	在车刀后	0①	11.42	120	0.15	0.5	21.75

①　前端带过渡刃（或 R）的 0°修光刀。

9.4　细长杆检测和车削细长杆操作缺陷分析

9.4.1　细长杆检测技术

细长杆即是加长的轴，所以在检测细长杆的尺寸精度、形位精度以及长度时，基本上可按照 6.1.4 节所介绍的关于轴的测量方法检测。

在检测细长杆时，还可针对它的特殊性，对某些项目进行检测。

1. 直线度检测

1）将等直径的工件水平放置在划线平板上，分别用百分表或塞尺检测外圆的最高值，即为工件的直线度误差。

2）直线度误差也可通过圆跳动误差表现出来。当细长杆的圆柱度误差较小

时，可将工件装夹在两顶尖之间，用百分表检测出圆跳动误差的最大值，这个数值也可以认定为工件的直线度误差。

2. 长丝杠的圆跳动检测

长丝杠的螺纹一般是通过用跟刀架支承丝杠外圆切削形成的，即丝杠螺纹中径与丝杠外圆的圆跳动误差相同，所以只检测丝杠外圆的圆跳动误差即可。由于丝杠外圆已呈螺旋状态，不能直接测出。这时，先将进给箱手柄调整到与丝杠螺距相同的位置上，再把工件装夹在两顶尖之间，使丝杠与主轴同步低速运转，合上开合螺母后停车，将百分表测头触及螺纹牙顶，再开车，使百分表沿着牙顶移动，观察百分表指针的摆动量，即可测出长丝杠外圆，即螺纹中径的圆跳动误差。

9.4.2 车削细长杆常见操作缺陷分析

在车削细长杆时，往往会产生一些操作缺陷。这些缺陷主要出现在车削外圆，特别是出现在采用车刀在前、跟刀架在后的切削过程中，它们往往会导致工件报废。

常见操作缺陷产生的原因和防止措施有以下几种：

1. 弯曲变形

在完成一次切削后，工件出现弯曲变形的现象。

1）毛坯料内部组织的内应力大，切削过程中，在切削力和切削振动作用下，使内应力重新布局而产生弯曲变形。因此，毛坯料一般应进行天然时效或消除内应力的热处理。

2）在加工前进行了校直处理。校直的外力使内部组织产生了新的内应力，在切削过程中，因内应力的释放而重新布局，从而恢复到原来的弯曲状态。我们的经验是在加工前或加工中，尽量不作任何的校直处理，使毛坯保持随弯就弯的原始平衡状态。

3）切削速度过快，特别是当毛坯件弯曲，各部相对于旋转中心偏移时，产生较大的离心力，导致工件弯曲。所以应选择适宜的切削速度和主轴转速。

4）切削参数，特别是车刀主偏角选择不当，使径向切削力过大产生扭曲变形。因此，车刀主偏角应与背吃刀量相协调，使车刀的径向切削力在满足径向推力状态下越小越好。

5）跟刀架支承爪与车刀切削刃间距过大，切削力对工件形成以这个间距为力臂的扭曲力，使工件变形。间距越大，扭曲越大，越容易产生弯曲变形。因此，两者的间距一般不超过2mm。

6）切削产生的热量不能及时导出，使工件温度升高，产生热伸长，而迫使工件弯曲。因此，除了浇淋足量的切削液外，还应采用弹性回转顶尖，作工件热

伸长的补偿。

2. 三边或多边形麻花棱

在已加工表面，往往会出现三边或多边形麻花棱的现象，它们以大螺旋的形式贯穿在外径表面上，表现在多处的断面均为不规则的棱形，而且越来越严重。产生这种现象的原因是：

1）车速太快，使不规则各段不同轴的毛坯料产生不同程度的离心力，形成不规则的甩动，从而引起振动，并逐渐传递到车刀，使切削处于不稳定状态，导致局部的背吃刀量发生变化。

2）跟刀架支承爪与工件表面接触不严，局部留有间隙，使工件得不到有效的支承而产生切削振动。

3）跟刀架支承爪与车刀切削刃间距过大，或支承爪工作面倾斜，产生较大的切削扭曲力，影响车削的稳定性。

4）尾座与主轴旋转中心和机床导轨向外偏移，导致在进给过程中，跟刀架支承爪逐渐远离工件，从而失去支承作用，产生振动。

总之，产生麻花棱基本上是由切削振动引起的。防止的方法是：找出产生切削振动的原因，如降低车速、修整支承爪、正确使用跟刀架以及调整机床的局部几何精度等。

3. 竹节状

在采用车刀在前、跟刀架在后的操作时，往往在细长杆表面形成越来越明显的竹节状凸棱，它是根据跟刀架的运作特点形成的。

1）车刀在工件靠近尾座一端车削出一定长度的支承面后，在架设跟刀架操作时，某个支承爪的接触压力过大，迫使工件产生轻微的移动，从而引起车刀背吃刀量的变化，使工件直径变细。

2）当支承爪支承面运行到变细的这段直径时，工件表面与支承爪产生远离的趋势，又在径向切削力的推力作用下，将工件推向支承爪，使车刀背吃刀量减少，工件直径变大。

3）当支承爪运行到小直径处时，车刀背吃刀量减小，直径变大；当支承爪运行到大直径处时，车刀背吃刀量增大，直径变小，使得细长杆外表面形成了规律性的竹节状缺陷，并重复和加剧以上的动作变化，使凸起程度也随之越来越严重。若没有足够的加工余量，则可能导致工件报废。

所以，产生竹节状的主要原因是由于跟刀架使用不当，导致背吃刀量的变化引起的。因此在架设支承爪时，一定要着力有度、松紧适当，既能使支承爪紧贴工件，又不引起车刀背吃刀量的轻微变化。

4. 腰鼓形

车削出的细长杆外圆，呈现两头细中间粗的腰鼓形缺陷。产生“腰鼓形”

的主要原因是由于跟刀架支承爪与工件表面接触不良而产生剧烈磨损造成的。它的形成过程是：

1）刚开始在靠近尾座车削时，由于被顶尖顶住，工件刚性较大，不易变形，支承爪也不容易磨损，车刀保持原来的背吃刀量运行，工件尺寸较为稳定。

2）当车削一段时间后，由于工件刚性逐渐减弱，支承爪被逐渐磨损，在支承面上形成瞬间间隙，同时由于工件的刚性减弱，工件被车刀的径向切削力推向支承爪，结果使背吃刀量逐渐变小，车出的工件直径也随之逐渐变大。

3）当车刀逐渐向床头靠近时，工件的刚性又逐渐增强，支承爪受到车刀的径向推力减小，其磨损程度降低，使车刀的背吃刀量逐渐增大，而工件直径逐渐变小。当车刀到达床头附近时，工件刚性恢复到刚开始的状态，工件直径也变得越来越小，工件直径形成两端细中间粗的近似“腰鼓形”缺陷。

采取的措施是：

1）跟刀架支承爪应选择耐磨性高的材料。

2）修整支承爪，使之与工件外圆接触良好。

3）选择较小的背吃刀量和进刀量以及较大的车刀主偏角，以减小径向切削力对支承爪的压力。

4）提供充足的切削液，以减小支承爪的磨损。

5. 锥度

车削工件直径呈先小后大或先大后小的锥度，产生的主要原因为：

1）尾座的相对偏移，引起工件旋转中心与车床导轨不平行。

2）车刀切削刃的磨损。

3）已加工表面，即工件支承面表面粗糙，使跟刀架支承爪磨损较快，引起车刀背吃刀量和工件直径的变化。

解决的方法是：

1）调整尾座的相对位置，保证工件旋转中心与车床导轨的平行精度。

2）选用耐磨的刀具材料，采用较小的车刀后角，并研磨光滑，使切削刃顺畅，减小磨损。

3）如果锥度呈比例变化，则是由车刀或支承爪的逐渐磨损引起的，这时可保持原有的车刀、支承爪、切削用量及冷却等切削条件不变的状态下，采用支承爪在前、车刀在后的切削方式，以带圆锥的外径为导向，再重复进给一次，使车刀或支承爪保持原来的磨损状况，利用跟刀架的运行特点，将带锥度的工件外径进行不同程度的修正。

参 考 文 献

［1］ 陈永泰．机械制造技术实践［M］．北京：机械工业出版社，2001.

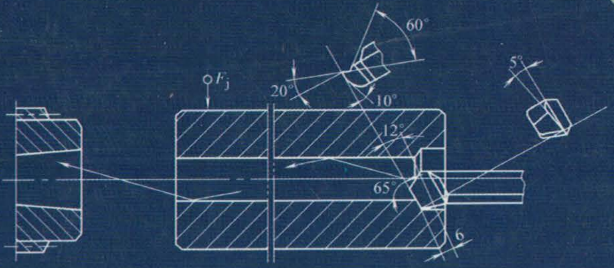
［2］ 陈宏钧．车工实用技术［M］．北京：机械工业出版社，2004.

［3］ 张若锋．机械制造基础［M］．北京：人民邮电出版社，2006.

［4］ 吴林禅．金属切削原理与刀具［M］．北京：机械工业出版社，2000.

［5］ 王启平．机械制造工艺学［M］．哈尔滨：哈尔滨工业大学出版社，1995.

［6］ 樊曙天．车工［M］．北京：化学工业出版社，2004.



机械工业出版社机械加工技能类书目(部分)

书号	书　名	作　者	定价
26726	磨工操作技术与窍门	何建民	35.00
17995	钳工操作技术与窍门	何建民	38.00
16765	车工操作技术与窍门	何建民	38.00
14903	铣工操作技术与窍门	何建民	35.00
26248	钳工速成与提高	胡小秋	26.00
25314	制齿工速成与提高	张宝珠	28.00
24269	车工速成与提高	张　胜	35.00
09521	车工实用技术(第2版)	陈宏钧	33.00
23745	铣工实用技术	陈宏钧	40.00
23648	镗工实用技术	陈宏钧	29.00
09672	钳工实用技术(第2版)	陈宏钧	36.00
21261	工件钻削与镗削速算	李秀智	20.00
21175	工件车削速算	李秀智	25.00
14817	实用铆工经验与窍门精选	翟洪绪	38.00
30196	师傅教你学车工	田雁晨 等	46.00

上架指导：工业技术/机械工程/机械加工

ISBN 978-7-111-30196-7
封面制作：马精明

地址：北京市百万庄大街22号
电话服务
社服务中心：(010)88361066
销 售 一 部：(010)68326294
销 售 二 部：(010)88379649
读者服务部：(010)68993821
邮政编码：100037
网络服务
门户网：http://www.cmpbook.com
教材网：http://www.cmpedu.com
封面无防伪标均为盗版

ISBN 978-7-111-30196-7
9 787111 301967 >
定价：46.00元